

博士論文

農村土地利用の応用空間経済分析

—衛星情報を用いた中国雲南省南部山間地帯の検討—

佐藤 赴

目次

序章 研究の課題と概要.....	1
第1節 研究の課題.....	1
第2節 研究の概要.....	3
第1章 リモートセンシング・GIS技術と応用空間経済分析.....	5
第1節 リモートセンシング・GISの技術.....	5
1) リモートセンシングの技術と発展.....	5
2) 地理情報システム(GIS)とその普及.....	9
第2節 農業経済学におけるリモートセンシングの利用.....	13
1) 農業におけるリモートセンシングの利用.....	13
2) 農業経済研究におけるリモートセンシングの利用.....	13
3) 開発と自然環境の壊廃.....	14
4) リモートセンシングデータのGISデータベース化.....	17
第3節 農業経済学におけるGISの利用.....	17
1) 農業におけるGISの利用.....	17
2) 農業経済研究におけるGISの利用.....	18
3) 土地利用変化の推計とGIS.....	19
4) GISによるデータ構築の意義.....	19
第4節 リモートセンシング・GISを応用した土地利用研究.....	21
1) リモートセンシングデータとチューネンモデル.....	21
2) チューネンモデル以後の立地論・付け値地代論.....	24
3) チューネンモデルの再評価とリモートセンシング・GISの活用.....	26
4) 農業経済学関連分野におけるリモートセンシング・GISを用いた実証分析事例.....	27
5) 関連分野におけるリモートセンシング・GISを用いた実証分析.....	30
6) 土地利用推計に対するGISのさらなる活用.....	31
第2章 中国雲南省の土地利用/土地被覆.....	33
第1節 分析対象地域とその特徴.....	33
1) 雲南省の概要.....	33
2) 元陽県及び隣接3県の特徴.....	40
3) 雲南省南部の棚田地帯に関する既存研究.....	44
4) 分析対象地域での研究課題.....	46
第2節 中国における土地利用をめぐる状況.....	47
1) 経済発展と関連政策.....	47

2) 食糧流通政策.....	48
3) 労働力供給.....	50
4) 環境政策.....	51
5) 中国の土地利用/土地被覆に関する既存研究.....	52
第3節 リモートセンシングによる土地利用/土地被覆判別.....	56
1) 対象地域の衛星画像.....	56
2) リモートセンシングによる土地利用/土地被覆判別技術.....	61
第4節 解析結果の正確性の確認.....	68
1) リモートセンシング推計結果の検討.....	68
2) 公刊統計との比較.....	71
第5節 土地利用/土地被覆の統計分析.....	75
1) 土地利用/土地被覆面積推計結果とその歴年変化.....	75
2) 土地利用/土地被覆の分布.....	79
3) 地理的データとの結合.....	85
4) 地理的データの統計分析.....	90
5) 社会経済データとの結合と統計分析.....	98
補論1 本研究で開発した土地利用判別アルゴリズム.....	103
第3章 広域土地利用に関する応用空間経済分析—中国雲南省棚田地帯を事例 に—.....	107
1) 低開発地域における土地利用の検討.....	107
2) 土地利用選択モデル.....	108
第2節 政策の変化と農地・森林面積の変化.....	111
1) 多項ロジット分析.....	112
2) 推計結果の考察.....	117
第3節 水田の存立と土地利用変化.....	118
1) 水田の保全と政策.....	118
2) 水田の土地利用変化.....	119
3) 水田が維持される土地の特性.....	123
第4章 農家の土地利用行動に関する応用空間経済分析—中国雲南省元陽県全 福荘村を事例に—.....	130
第1節 農地管理と圃場分散問題.....	130
1) 圃場の分布における農業生産上の問題.....	130
2) 中国における圃場零細分散問題.....	133
3) 圃場分散の研究の課題.....	134
4) 圃場分散研究へのGISによるアプローチ.....	135
第2節 GPSを利用した圃場分布・通作経路GIS地図の構築.....	136

1) 研究対象地域の選定	136
2) GPS による圃場の特定	140
3) GPS による移動経路の推定と分析	142
第3節 圃場分散による生産影響の経済分析	162
1) 分析対象農家データ	162
2) 農業生産面から見た圃場配分と分布の特徴	165
3) 推計モデル	168
4) 結果と考察	172
補論2 GPS による農村の圃場・経路マッピング	178
1) 移動経路（道：ライン）データの構築	178
2) 平均所要時間の測定	183
3) 作成した圃場 GIS データセットの特性	189
4) ネットワーク分析と圃場移動データの作成	190
第5章 おわりに	196
第1節 分析結果の要約	196
第2節 今後の展望と残された課題	199
引用文献	203

序章 研究の課題と概要

第1節 研究の課題

本研究は、近年技術的発達が目覚ましい地理情報システム(GIS)やリモートセンシング解析を利用した独自推計によって、統計データを補完する試みを行った。GISは様々な空間データを作成・加工し目的に応じたシミュレーションが可能であり、リモートセンシング解析は世界中の国々と地域における農地・森林面積を過去に遡って推計して変化を把握できる。GIS関連技術の農業経済学への応用可能性は、計量経済学手法の進化によって近年格段に高まってきた。データの独自推計とも相まって、従来研究が見送られていた地域や課題に対する実証研究が可能になってきたのである。

GIS研究と経済学研究の間には、自然環境の工学的把握と個人の合理的意思決定の検討というそれぞれの問題意識の違い、分析アプローチの本質的な違いがある¹。しかし本研究では、その差を埋めるべく、社会経済分析のデザインに合わせて自らリモートセンシング解析やGIS分析によりデータ整備を行うことで、社会経済統計と土地利用/土地被覆²や空間情報を適切に統合し、分析することが可能となった。この独自に作成したデータセットを用いて、計量経済学的手法に基づいた実証研究を行うこととした。

本研究の分析対象地域は、中国南部雲南省の山間地帯である。中国は2005年に人口13億人を超え³、2013年にGDPで世界第2位になるなど⁴急速な人口増加と目覚ましい経済発展を経験している。その一方で、文化大革命や改革開放以降、環境資源の保全と水資源確保が喫緊の課題となっている。大規模な自然開発が進んでおり、その過程で重大な環境汚染、自然資源の潰廃が起こっていることが指摘されている⁵。中国における食料・自然環境の悪化は、未来に渡って、世界の環境問題や食料需給に大きな影響を与える恐れがある。開発がまさに進みつつある中国の農村地域を対象に経済分析を行い、農地・水資源の効率的な利用と持続的な発展のあり方を検討することは、国際的な観点からも重要な課題だといえる。しかし、現在に至るまで、その自然資源や農地資源に関する

¹ Verburg et al. (2001)を参照。

² 本研究で「土地利用/土地被覆(Land use/Land cover)」とは、リモートセンシング等により判別した地表の土地利用及び土地被覆を指す。また、本研究での経済分析は「土地利用/土地被覆」から想定される「土地利用(Land use)」について行っている。

³ The World Bank(2010)を参照。

⁴ 中国社会科学院 2010年12月26日発表

⁵ Long et al. (2007), Khan et al. (2009)など。

る定量的な分析は、必ずしも十分に行われてこなかった⁶。

その最大の要因の一つが、統計データの不足である。資源利用の具体的な方策を検討するためには、正確な資源賦存量とその利用実態の把握が必要不可欠であると考えられるが、中国では、過去から現代までの正確で詳細な統計データが整備されているとは言い難い⁷。またこれは、中国のみならず、開発途上の国や地域一般にも指摘される課題である⁸。本研究ではリモートセンシングとGISを用いて、科学的な根拠に基づき経済分析に適したデータを作成する。このデータセットで統計の不足を補いながら、農地資源の利用実態を明らかにする。

データの不足を克服するだけでなく、リモートセンシングやGISを活用することで、今まで捉えきれなかった地理的特徴や差異を明らかにすることも本研究の意義の一つである。Ricard(1817)が土地の質的差異に大きく影響されると述べた農業であるが、それに加えて、空間的な異質性⁹や、移動・輸送に掛かるコストも農業経済学的分析において特に重視すべき要素である。これまでそのことを分析する手法やデータセットの確立が遅れていたこともあり、集落レベルでの圃場管理や地域の土地利用分析において、その影響を考慮した分析はほとんど見られなかった¹⁰。本研究では、社会経済的な変数に、GIS分析によって導入可能となった地理的・生物物理的データを加えて、これまで取り扱えなかった課題の克服に挑戦する。

中国も含め、開発途上国において、土地・水資源の効率的かつ持続可能な利用と維持管理の遂行は、農業発展上の大きな課題となっている。その改善に向けた計画や政策を立案する上で、GISやリモートセンシングの技法を用いて不足するデータを補い、地理的な情報を生かした経済的分析を開発していくことは社会的に大きな意義があり、農業経済学が新たな貢献のできる可能性を見い

⁶ 沿岸部の都市周辺環境資源・土地利用の分析事例は見られるが、本研究で扱う西部や農村地域の農地資源に関する定量的研究はほとんど見られない。

⁷ 統計データそのものが取得できないケースも多く、さらに公表されている中国統計に関しても、同じ項目が複数の資料で公表されており数値が食い違っている、一度公表された数値が後から修正されることがしばしばある(山田 2006)。土地利用面積の統計については、Smil(1999)やLin (2003)が、1996年の国土調査で、それ以前まで国家統計局の地方幹部が報告していた耕地面積より実際には約40%(0.4億ha)耕地が広がった事実を挙げ、データの信頼性・正確性の低さを問題提起している。

⁸ Nelson et al. (2002)を参照。また、Barbier (2001)は、世界の地域での森林・農地面積の変化をまとめ、森林潰廃などにおいて政府センサス等によるデータは恣意的な誤った数量が用いられることが多いと指摘している。

⁹ Anselin (2002)を参照。

¹⁰ Li et al. (2013)を参照。

だせるだろう。

第2節 研究の概要

本研究における分析は、リモートセンシング解析データと GIS 分析¹¹とを統合した計量経済分析に基づいている。分析対象は、急速な経済成長に伴い、農地や森林などの資源の潰廃が懸念される中国雲南省の農村地域での土地・農地利用である。しかし、中国で公刊統計により土地利用を把握しようとしても、データが過小に報告されていたり、過去のデータが欠損している、調査・推計の方法が統一されていないなどの問題があり、正確な分析は極めて困難である¹²。また、そもそも一般の統計では把握できないような、地形や圃場の零細性といった地理的特徴が分析において重要な要素となるために、リモートセンシングや GIS を利用した独自のデータ作成・加工が分析上効果を発揮する。

本研究での章構成は以下である。

第1章では、リモートセンシングや GIS による研究動向をレビューし、その意義と農業経済学での適用の可能性を探る。

第2章では、分析対象地域である中国の制度政策についての農業経済分野の研究動向を概括したうえで、実際に中国雲南省の農村地域を対象にしたリモートセンシングデータに基づく土地利用分類を検討する。解析した土地利用/土地被覆の推移と想定される土地利用、標高や斜度等の生物物理的特性、GIS 分析により独自に推計された地方都市の中心部からの距離、それにセンサデータによる社会経済変数を統合したデータセットを構築し分析を行う。

第3章では、前章のデータを利用したチューネンモデルに基づく計量経済モデルを用いて、土地利用決定要因を考察する。また、農地としての水田から乾燥畑地や森林への転換について分析を行う。

第4章は、分析対象地域の一つの集落において、農家の調査票調査と農家圃場に関する全地球測位システム(GPS)データの収集を行う。それらのデータを GIS によって統合し、農家－圃場を結びつけたデータセットを構築する。このデータセットを用いて、集落での圃場の分布を明らかにするとともに、農業生産へ圃場分散や通作距離が与える影響について、計量経済学的に検討する。最後に第5章は研究全体の総括である。

¹¹ 本研究では、GIS による作業に Esri 社(<http://www.esri.com/>)ArcGIS を使用した。

¹² Frolking et al.(1999), Smil(1999), Seto(2002), lin(2003), Liu et al.(2005)を参照。いずれも中国の公刊統計では実際の中国の農地面積より少ないことを指摘している。Frolking et al.(1999), Seto(2002), Liu et al.(2005)は独自のリモートセンシングによる結果から、中国の公刊統計農地面積を否定している。Smil(1999)や Barbier (2001)は統計の正確性が低い問題は中国に限らない(特に低所得国で深刻である)としている。

なお、中国雲南省における現地データの取得は、雲南省社会科学院の研究チームとの共同調査によって行った。

第1章 リモートセンシング・GIS 技術と応用空間経済分析

第1節 リモートセンシング・GIS の技術

1) リモートセンシングの技術と発展

本研究は、リモートセンシングや GPS などの衛星データを基に、独自に土地利用や市場・圃場のアクセシビリティを明らかにし、経済分析を行うことが目的の第一である。以下、研究で使用するリモートセンシング技術のコア部分を紹介する。

リモートセンシングとは、物体に関する情報を接触せずに収集することである¹³。その定義には曖昧さも残るが、本研究では主に Rees(2012)に準じて、対象を上空から衛星や航空機を使い、電磁波によって観測する手法に絞ることにする。広範囲の土地利用土地被覆を宇宙からの衛星画像データの解析により明らかにすることができる。この技術は、日本では特に衛星リモートセンシングという名称で取り扱われている。

宇宙からの多スペクトル画像の撮影に初めて成功したのは 1960 年の米国国立航空宇宙局(NASA) によるアポロ 6 号であるとされる。そして、アポロ 6 号を発端としてリモートセンシング技術は、1972 年の NASA による Landsat 衛星の打ち上げ・運用開始を契機に大きく発展してきた¹⁴。現在では、リモートセンシングシステムの数やその性能、観測可能な波長も増加している¹⁵。

表 1 は、現在利用可能な主なリモートセンシング衛星とその撮影画像の特徴をまとめている。再訪周期とは同じ観測点に到達する周期である。画像エリアは一度に撮影できる地表面積であり、ピクセルの分解能とは、画像の最小単位であるピクセル一辺の地表面積での長さである。たとえば Landsat では、ピクセルは 30m×30m の正方形となっている。リモートセンシングにおいてこの画像最小単位の区分を「ピクセル」と呼ぶ¹⁶。

再訪周期と画像エリア、ピクセルの分解能は主に衛星軌道の高度に依存しトレードオフの関係にある¹⁷。軌道が高高度であるほど、地球の周長が増大するとともに地球の引力が弱まり釣り合う衛星の軌道速度が低下するために、再訪周

¹³ Campbell(1996)を参照。

¹⁴ Campbell(1996)を参照。

¹⁵ 近年は政府機関だけでなく商業衛星の打ち上げと観測も盛んになっており、さまざまな地域において解像度の高いデータが入手可能である（日本スペースイメージング社 2013 (<http://www.spaceimaging.co.jp/>) 他）。

¹⁶ 本研究では、ピクセルのことを「セル」、「画像セル」と呼ぶ。

¹⁷ 須崎他(2002)を参照。

期は長くなる。地表面との距離が増大するため一度に広範囲を撮影できるが、解像度は低下する。表中の IKONOS や QuickBird 等は画像エリアが狭いにもかかわらず再訪周期が短い、これは撮影器の角度を動かし任意の地域を撮影するポインティングという機能を使用するためである。表中の(PAN)とはパナクロマティックセンサを指し、これは、広範囲の光波長を高い分解能をもって観測するセンサーである¹⁸。

現在最も入手が広く利用されている衛星画像の一つが Landsat 衛星の画像である。本研究においても Landsat の画像を画像解析と土地利用/土地被覆分類に Landsat 画像を使用している。この Landsat 衛星の特性と衛星画像の細かな説明は、第 2 章で行う。Landsat と同様にアメリカが打ち上げた衛星 AVHRR は、海洋観測等に用いられ、主に広範な気象観測を行っている。SPOT はフランス宇宙局によって打ち上げられた衛星である。比較的古い年次(1986 年)よりデータが取得できるのだが、画像の分解能は大きく画像一枚あたり数十万円¹⁹と価格が高い。

衛星 ALOS は我が国の高分解能陸域観測用衛星である。AVNIR 画像は ALOS より高分解能の画像で波長数も多いが、再訪周期が長いという欠点があり、また期間が 2006 年~2011 年に限られていてデータ入手可能年次が少なく、長期での土地利用分析には向いていない。

その他、IKONOS や QuickBird, GeoEye は民間の商業衛星である。これらの衛星による画像は非常にピクセルの分解能が高く、比較的狭い特定の範囲の土地利用/土地被覆を詳細に判読することができる。これらのポインティング機能を持った衛星では、任意の地域で特定の期間に撮影することを前もって依頼できる。

以上のような衛星による画像データを利用したリモートセンシングデータの特徴として、広域性・同時性・同質性・高頻度性といった特徴がある²⁰。土地利用等の統計データの入手が困難な地域や元々データのない地域、データの画一性に乏しい地域、正確性の低い地域においても、広域性や同質性の観点から同水準のデータが入手可能となる。また、データの正確性については、その解析過程の改善により、質の向上が可能である。そして、仮に土地判別データに誤りがあったとしても、操作上の技術的な理由によるために、あらためて修正が可能であり、そのバイアスの方向が判断しやすく改めての分析において人為的なバイアス²¹が生じえない点に強みがあると考えられる。

¹⁸ このセンサーの画像は、波長域が短く地表から反射される波長を複数に分類できないので、土地利用の分類等はできないが、その形状を判読するのに向いている。

¹⁹ 解像度等により異なる。詳細は SPOT Image 社(<http://www.spot.com/>)を参照。

²⁰ 須崎他(2002)を参照。

²¹ Gibson et al. (2007)は GPS による測量について、聞き取り調査よりも計測が正確である

リモートセンシングは多様な環境変数の測定にも効果を発揮し、大気中の気温、降水量、雲の分布、風速、水蒸気や二酸化炭素等、地表面における地表温度、反射率、土壌水分などが測定できる²²。地表面の土地被覆状況の判別に加えて、生物物理的な変数を入れることで、これらの指標に表れる自然環境による影響をコントロールすることが可能となる。本研究においても、標高や斜度といった土地利用や農業生産において重要な要素を、「地理的変数」及び「生物物理的変数」とし、社会経済的な変数に加えて使用している。

リモートセンシングは、本研究のような土地利用変化の分析、作付面積の推定、森林資源情報の取得を可能とする他、実務では、環境分野における海洋汚染の監視、水質モニタリング、防災分野における火山活動の監視、土砂災害の予測、地震被害の把握、水産・海洋資源分野における表面水温の計測、または地図の作成や降雨量の予測に役立てられている²³。そして後述するように、これらの観測データの利用は、農業経済分野にも深く関わっている。

とする。また、特に中国では、Rawski (2001)や 李(2013)のように、中国国家统计局の統計値と世界銀行による統計を吟味し、中国国家统计局が GDP の統計値を過小に算出していたと結論する例もある。

²² Rees(2012)を参照。

²³ 秋山他(1996)を参照。

表 1 リモートセンシング衛星とその衛星画像の特性

	再訪周期	画像エリア	ピクセルの分解能	波長数	入手可能年次
Landsat 1,2,3	16-18日	150×150km	80m	4	1972～1983年
Landsat 4,5	16-18日	150×150km	30m/ 15m(PAN)	7	1982～2012年
Landsat 7	16-18日	150×150km	30m/ 15m(PAN)	7	1999年～
Landsat 8	16-18日	150×150km	30m/ 15m(PAN)	9	2013年～
AVHRR	2回/日	800×800km	1.1km	5	1978年～
IKONOS	1-3日	可変	1-3.3m/ 0.8m(PAN)	4	2000年～
QuickBird	1-3日	16×16km	2.4m/ 0.6m(PAN)	4	2002年～
SPOT	3-6日	60×60km	10-30m	3	1986年～
GeoEye	3日	15×数百km	1.6m/ 0.4m(PAN)	4	2008年～
ALOS/ AVNIR	46日	70×70km	10m	4	2006～2011年

出所： Nelson (2002), リモート・センシング技術センター (2013)
をもとに筆者加筆.

註： PAN はパングロマティックセンサを指し，解像度は高いが，波長を細かく識別できない(色を識別できない)センサーである．形状の識別に向く．

2) 地理情報システム(GIS)とその普及

本研究でのデータ構築において、リモートセンシングとあわせて利用されるのが地理情報システム(GIS)である。GISとは、複数の地理情報を統合して処理するシステム全体を指す。また、その地理情報計算を行うハードウェアや解析ソフトウェア、データの入出力機も含めた総称を指す場合もある^{24,25,26}。

GISの最大の特徴は、扱われるデータが、単独・相互に空間的な位置関係によって関連付けられているということである。GISでは、位置やその繋がりや形状を表す情報を「幾何情報」、その位置における内容・状態を表す情報を「属性情報」として区別して、それらを組み合わせて「地理情報」を表現している²⁷。

本研究では、リモートセンシングで明らかにした土地利用/土地被覆データとそこから類推される土地利用、各行政単位の社会経済統計を空間的に関連付けるために、また、圃場までの道のりや圃場の形状の正確な計測・出力をするために、GISを使用している。

表2は国内外のGIS普及や発展に関する主要な出来事をまとめたものである。最初期のGISデータベースの構築は、カナダ・アメリカにおけるカナダGISの国勢調査の整備である。GISデータ整備が進められた背景には、政府の統計データがデータ量の多さから集約され大事な情報が落とされてきたことに対する問題意識があったとされる²⁸。それまでのデータと異なり、統計情報を地理的な情報と関連付けて構成できるために、データの煩雑さや扱いにくさが軽減され、より高度な分析が可能になった²⁹。

GISの学術的な利用は、1970年に開催された国際地理学連合シンポジウムがきっかけだとされる。GISの技術発展の面では、1972年にアメリカからLandsat1が打ち上げられたことが特筆される。Landsat衛星は、前述した通り、その後土地被覆の解析や農産物収量の推計等を目的として、継続的に打ち上げ

²⁴ 須崎(2002)を参照。

²⁵ Phadke (2006)においても、「空間的に地球を基準としているデータを保存、確認、統合、操作、分析し、表示するためのシステムであり、一般的にコンピュータデータベースやアプリケーションソフトウェアを含むと考えられている」としており、ほぼ同じ定義となっている。

²⁶ 他方で、Longley (1999)はGISを定義づけるのは困難であると指摘する。その理由は、分野が多岐にわたり、分析対象やテーマも様々であり、かつ、学術的な中心分野がソフトウェア演算にあるのか、分析手法にあるのか定かでないためである。

²⁷ 須崎(2002)を参照。

²⁸ The Geospatial Communication Network (http://www.geospatialmedia.net/about_geospatial.htm)などを参照

²⁹ Classen(1977)を参照。

られた³⁰.

1985年には、同じくアメリカの衛星による全地球測位システム(GPS)の利用が始まった。GPSは、3つ以上のGPS衛星から電波を受発信し、その往復の時間差からそれぞれのGPS衛星との距離を算出し、現在位置を推計するシステムである³¹。この技術により、現在では誤差数mの範囲で任意の地点の座標を求めることができる。GPSは広義のGISに含まれ、これらの技術発展により、より広範かつ高精度の地理情報が入手できるようになり、GIS全体の普及・発達が進んだ。その後、1996年以降には、インターネットGISやフリーソフトウェアであるQGISが広まり、民間や一般での利用・普及も進んでいる。

日本では、1990年代から、そのデータの整備と活用が盛んになった。日本地理情報学会が1992年に設立されたほか、政府は阪神淡路大震災を受けて1995年に「GIS関係省庁連絡会議」を設置(2005年に「測位・地理情報システム等推進会議」に変更)、1996年には「国土空間データ基盤の整備及びGISの普及の促進に関する長期計画」を決定し、その後も2002年に「GISアクションプログラム2002~2005」を、2007年に「GISアクションプログラム2010」を決定し³²、政府統計のGISデータの整備に力を入れてきた。現在は、政府の国勢調査³³も行政区界のGIS座標データと一致する形で入手可能である。また、国土数値情報³⁴や日本水土図鑑GIS³⁵などのウェブサイトでは、標高や斜度、道路や路線等の様々な地理的データが整備されており、国勢調査による人口密度や年齢構成等と合わせて、無料で取得することができる。

GISは現在、地理学、地質学、生態学、防疫学、経済学や文化人類学等の分野で使用されている。一般的にGISの意義として、データベースとして情報が集約されていること、今まで活用されてこなかったデータを利用可能であること、複雑な演算の実行やシミュレーションが容易であること等が挙げられる³⁶。世界的には、土地所有やゾーニング、公共工事、ごみ収集など、80%の地方自治体の活動が地理的な要素に基づいて行われる³⁷というデータもある。農業経済分野においても、農業センサスデータ³⁸が、国勢調査と同じように行政区界や農業集落界のGISデータと合わせて入手できるようになっている。第2章、第3

³⁰ アメリカ地質調査所ウェブサイト(<http://landsat.usgs.gov/>)でのLandsat項目を参照。

³¹ Hofmann-Wellenhof(1993)に詳しい。

³² 農林水産省農村振興局(2010)を参照。

³³ 総務省統計局(2013)に掲載。

³⁴ 国土交通省国土政策局(2013)を参照。

³⁵ 日本水土総合研究所(2013)を参照。

³⁶ Longley(1999), Overman(2006)を参照。

³⁷ Briggs(2013)GIS Fundamentalsウェブサイト(<http://www.utdallas.edu/~rbriggs/poec6381.html>)を参照。

³⁸ 農林水産省(<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL02100104.do?tocd=00500209>)に掲載

章で利用するデータは、ミシガン大学が整備した中国の行政界センサスデータ³⁹と衛星リモートセンシングデータとの地理的な関連付けを行って構築したものである。

³⁹ China Data Center (<http://chinadatacenter.org>) によるデータ。

表 2 国内外での GIS の普及と発展

年	国際的なGIS発展と地理的データ整備
1963	カナダ地理情報システム(CGIS)構築
1967	米国統計局が国勢調査 Dual Independent Map Encoding(DIME)開発
1970	国際地理学連合(IGU)シンポジウム開催
1972	Landsat 1号打ち上げ リモートセンシングの開始
1985	GPS運用開始
1994	US がNational Spatial Data Infrastructure (NSDI)構築
1994	USオープンGISコンソーシアム設立
1996	インターネットGIS
1996	オープンソフトウェアの普及 QGISリリース
2005	Google Maps, Google Earth開始
年	日本国内のGIS発展と地理的データ整備
1992	「日本地理情報システム学会」設立 (GIS Association Japan)
1995	阪神淡路大震災を受け 「GIS関係省庁連絡会議」の設置
1996	「国土空間データ基盤の整備及び GISの普及に関する長期計画」
1998	「東京大学空間情報科学研究センター」 (CSIS)発足
2000	国土地理院 :地形図オンライン閲覧システムの試験公開
2001	国土交通省国土計画局 :国土数値情報の無償提供
2007	地理空間情報活用推進基本法策定
2008	電子国土基本図 電子国土基本図一般公開

出所： Campbell (1996), 国土交通省国土地理院ウェブサイト
(<http://www.gsi.go.jp/GIS/index.html>)をもとに筆者作成

第2節 農業経済学におけるリモートセンシングの利用

1) 農業におけるリモートセンシングの利用

リモートセンシング技術は、農業分野では比較的広範囲での草地や水源・農地等の判読の他、水田や乾燥地や焼畑のモニタリング、作物個体群情報の計測等に利用されている⁴⁰。また、狭い測量範囲での近接リモートセンシングによる、水稻の生育診断や食味測定、葉温や蒸散の測定、茶などの葉内成分の推定も行うことができる。農業経営の実務へ貢献するものとしては、収穫作業のシステム化や収穫適期判断支援などの取り組みが日本でも行われつつある⁴¹。水稻の食味の解析といった精密リモートセンシングは、特に日本において、作物学や植物生理学の分野で研究が進んでいるが⁴²、経済学分野での事例研究等はまだまだほとんど見られない。経済学で用いられるリモートセンシングデータのほとんどは、土地利用/土地被覆の判読・モニタリングに関わる衛星画像データである。

2) 農業経済研究におけるリモートセンシングの利用

土地利用/土地被覆及び森林資源の増減に関わるデータは、地理学や生態学分野の研究で頻繁に用いられてきたのだが、経済学などの社会科学分野においても用いられる機会は増えている⁴³。Verburb et al. (2001)は、土地利用/土地被覆に関する研究において、地理学や生態学などの自然科学的研究と経済学等の社会科学的研究とは、問題意識と分析スケールに違いがあると指摘している。一般的に、経済学の分析では家計レベルのミクロ経済データも利用するのに対して、地理学や生態学では生物物理的な変数を重視し、たとえ社会経済的な変数を用いた場合でもマクロスケールのデータ以外はほとんど用いない。

近年では経済学・農業経済学でもリモートセンシングデータを使った研究が増えている、特に開発途上国において多く見られる。これは、政府の公式統計に頼れないことが大きい。農業経済学分野においてリモートセンシングデータを先駆的に用いて土地利用を経済分析した研究として、Chomitz et al. (1996)を挙げることができる⁴⁴。同研究では、推計した土地利用の実態を、市場からの

⁴⁰ 秋山他(2007)を参照。

⁴¹ 秋山他(2007)、農林水産省(2011)を参照。

⁴² 木村他(2007)や境谷他(2012)など。

⁴³ Verburb et al. (2004)を参照。

⁴⁴ 経済学分野・農業経済学分野における土地利用/土地被覆判読データを使用した研究はほぼ全ての文献で土地利用/土地被覆を「土地利用」と見なし、あるいは具体的な土地利用を想定し、分析に使用している。

距離を生産物価値に関連づけたチューネンモデル(Von Thunen 1966)をもとに、多項ロジット分析により土地利用選択行動を検討した。これは、取得可能データの限られる中米の国 Belize での実態を理論的仮説を示しながら実証分析を行った例である。Chomitz et al. (1996)を以降、農業経済学で理論的モデルを前提とした研究は数多く見られる⁴⁵⁴⁶。

3) 開発と自然環境の壊廃

リモートセンシングデータは自然資源量の把握に用いられることが多いが、一般に、自然環境と経済発展との間には逆相関の関係があることが知られている (WorldBank 1992)。これは、人口の増加に伴って、食料や生活に必要な資材を得るために自然林は切り開かれ、耕地が増大するためである。

低開発地域の農村部では、日常生活の多くが森林や水産資源、灌漑水稻の自然資源に依存していて、過剰利用によって水資源の枯渇や土壌浸食が進み、森林や草地といった共有資源が失われて、農村の貧困層がより貧しくなるということがアフリカや南アジアの多くの地域で確認されている⁴⁷。経済発展に伴って環境汚染が重大化していくものの、ある時から汚染の抑制へ転じていく。したがって、一人当たりの所得が向上するにつれて、最初は環境の質が悪化するが、次第に改善していくという、環境負荷が逆U字のパターンで描かれる環境クズネッツ曲線⁴⁸の存在も指摘されているが⁴⁹、その厳密な検証には、疑問の声もある⁵⁰。砂漠化のような環境問題には非可逆性が存在する。場合によっては、環境資源は回復できないほど急速に枯渇・汚染されるという可能性もある⁵¹。それを未然に防ぐために、自然環境の現状把握と経済的評価を行う意義は大きいと考えられる。

⁴⁵ Nelson et al. (1997), Mertens et al. (2000), Muller et al. (2002), Munroe et al. (2002), Seto et al. (2003), Wu et al. (2007), Li et al. (2013)を参照。

⁴⁶ Chomitz et al. (1996)以前では、Fox et al. (1994)は理論モデルこそ示してはいないものの、517プロットのデータを用いて、多項ロジットモデルによって焼畑、果物と野菜、水田、茶畑の間での土地利用の変化要因を推計している。これは計量経済モデルでの推計の手続きにおいては Chomitz et al. (1996)と同様である。

⁴⁷ Bardhan et al. (1999)を参照。

⁴⁸ 森林面積の動向に関して最も頻繁に指摘される要因は、産業構造の変化による農地面積の減少であり、環境の質に関しては、技術的・組織的な汚染削減能力の改善、環境に対する意識の高まり等が挙げられる。Rudel et al. (2005)は、経済発展の進行の過程で森林面積率が減少から増加に転ずるターニングポイントを国、地域、年代別にまとめている。

⁴⁹ Grossman et al. (1995)を参照。

⁵⁰ Kijima et al. (2010)を参照。

⁵¹ Bardhan et al. (1999)を参照。

FAOの統計によれば、2000~2010年の森林面積は、アフリカ、アジア、ヨーロッパ、中南米、中近東において、年変化率でみて、それぞれ-0.62%、+0.19%、+0.07%、-0.46%、+0.07%の変化を示している(表3)。また、アジアの中でも、比較的経済発展の進んでいる東アジアと東南アジアで、増減は大きく異なっていることがわかる(表4)。Rudel(2005)が指摘するように、森林や農地等の環境資源の増減を分析する際には、対象地域の気候条件や経済発展を明らかにしなければならない。

表 3 1990年～2010年における世界での森林面積の変化

	森林面積(1,000ha)		
	1990	2000	2010
アフリカ	749,238	708,564	674,419
アジア	733,364	726,339	740,383
ヨーロッパ	989,471	998,239	1,005,001
中南米	978,072	932,735	890,782
近東	126,612	121,431	122,327
北米	676,760	677,080	678,958
世界	4,168,399	4,085,063	4,032,905

	年変化(1,000ha)		年変化率(%)	
	1990-2000	2000-2010	1990-2000	2000-2010
アフリカ	-4,067	-3,414	-0.56	-0.49
アジア	-703	1,404	-0.1	0.19
ヨーロッパ	877	676	0.09	0.07
中南米	-4,534	-4,195	-0.47	-0.46
近東	-518	90	-0.42	0.07
北米	32	188 n.s.		0.03
世界	-8,334	-5,216	-0.2	-0.13

表 4 1990年～2010年におけるアジアでの森林面積の変化

	森林面積(1,000ha)		
	1990	2000	2010
アジア			
東アジア	209,198	226,815	254,626
南アジア	78,163	78,098	80,309
南東アジア	247,260	223,045	214,064
オセアニア	198,744	198,381	191,384
アジア計	733,364	726,339	740,383

	年変化(1,000ha)		年変化率(%)	
	1990-2000	2000-2010	1990-2000	2000-2010
アジア				
東アジア	1,762	2,781	0.81	1.16
南アジア	-7	221	-0.01	0.28
南東アジア	-2,422	-898	-1.03	-0.41
オセアニア	-36	-700	-0.02	-0.36
アジア計	-703	1,404	-0.1	0.19

出所：FAO stat(2011)をもとに筆者作成

4) リモートセンシングデータの GIS データベース化

リモートセンシングデータの利用において、衛星画像のみのデータでは、大気・太陽光・地表状態などの多くのパラメータに影響されるため、地上の測定値を用いたキャリブレーションが必要である。また、地形データ・地質データ・行政界などの地理情報と組み合わせ、GIS を利用した統合的な分析を行うことが望ましい⁵²。

GIS とリモートセンシングの統合的な利用は、防災分野や水文学分野での工学的な分析のみでなく、土地利用変化のシミュレーションにも利用可能されている⁵³。

本研究では、第 2 章及び第 3 章において、リモートセンシング技術と GIS を用いて統合的なデータセットを構築する。具体的には、リモートセンシング解析後の土地利用データと、センサス等の社会経済データが入力された行政界や道路の地図データとの地理的な関連付けを行う。構築したデータセットをもとに、第 3 章では計量経済分析を行う。この過程は、筆者が本研究に先駆けて行った千葉県での GIS データベース構築とその分析手法⁵⁴を活用する。

GIS によって作成した変数を利用して、環境経済学ではヘドニック分析を行っている⁵⁵。これらの研究では、距離や道のりの変数を GIS によって算出して分析に利用していて、さらに計測後の条件を変えてシミュレーションを行っている。

第 3 節 農業経済学における GIS の利用

1) 農業における GIS の利用

GIS の技法は地域の農業政策や農業経営管理で幅広く活用されている。GIS を農業へ活用する実際的な意義には、情報整理の高度化・情報検索の迅速化、情報共有・相互利用、視覚的な表示・分析の三点が挙げられる⁵⁶。内田(2005)は、高度な農地利用が進め、農業生産基盤の維持を図る上で、農地の利用調整が課題となってくるとし、そこで GIS が作業の効率化を支援するツールの一つとして期待されると述べている。例えば、GIS を使用して圃場一筆ごとの地図データに、経営者、所有者、貸借の希望、地番、面積、土壌情報、品種、食味

⁵² 村井(1989)、須崎他(2002)を参照。

⁵³ Carpenter(1997)、Asner et al. (2002)、Shalaby et al. (2007)を参照。

⁵⁴ Sato et al. (2013)を参照。

⁵⁵ Bockstael(1996)、Bastian et al. (2002)、Thapa et al. (2008)など。

⁵⁶ 農林水産省 農村振興局(2010)を参照。

等の品質、栽培履歴等などの属性データを重ねて合わせることが可能となる。

GIS の農業利用の例には、GPS を利用した精密農業も含まれる。八木(2011)は、日本では米国と比較して⁵⁷、GPS の農業経営への活用が近年まで後れを取っていたことを指摘しつつ、今後は費用対効果が見込め、面積や費用から見て十分に導入可能であるとしている。農業経営での GPS 関連技術については、日本でさらなる普及を進めるには、Larkin et al. (2008)や Walton et al. (2010)、Khanal et al. (2013)のような、GPS 導入が経営に及ぼす影響の定量的な研究の蓄積をまず行うことが期待される。

2) 農業経済研究における GIS の利用

GIS は、空間経済学や都市経済学の他、地理的特性の分析や空間計量経済分析に活用させていて、Anselin(1992)以来、農業経済学における計量経済学的分析にも用いられている⁵⁸。第2節で紹介したリモートセンシングデータを用いた既存研究は、GIS を活用した例でもある。その一方で、リモートセンシングのような広範囲なエリアは対象としない、個別の経営分析にも GIS・GPS は活用されている。GIS により圃場の分布や形状の分析、通作距離の定量的な把握を行っている場合が多い。

国内の研究でも、圃場単位の土地利用の要因分析を行った遠藤(1999)など、経営分析や地域の農業計画論での GIS を用いた土地プロットを単位とした分析は複数見られる⁵⁹⁶⁰。その中でも、八木他(2004)は線形計画法を用い、GIS を利用して圃場の外部効果や団地間の移動効率を明示的にモデルに組み込んだ形で圃場単位の期待土地分級を明らかにし、シミュレーションを行っている。八木(2006)ではさらに、耕作放棄による外部不経済の評価を作成・変化させ、土地利用モデル推計を改善している。また、鹿内他(2007)は GIS を活用し圃場間の移動に関わる変数を作成し、井上他(2011)は、GPS を用いて堆肥運搬散布サービスの圃場一筆あたりの所要時間や日割りの散布面積を試算し、経営分析の指標としている。西村(2009)は、GIS・GPS を活用することで農作業工程を把握している。

正確な位置情報が管理・分析できる利点から、農業土木学の分野では島他(2007)が、農地の多面的機能の定性的評価に GIS を用いている。中嶋(2003)は

⁵⁷ Bullock(2002)などが米国での普及についてまとめている。

⁵⁸ Staal(2002)など

⁵⁹ GIS に限らず、圃場などの詳細な単位での農地の生産力に関するレビューに八木他(2006)がある。

⁶⁰ 下荒地他(2000)、近藤他(2000)、柳澤(2002)、八木他(2003)、八木他(2004)、八木他(2005)、八木(2006)、井上他(2011)などを、GIS を使用した研究事例として挙げられる。

農業経済学的な多面的機能の評価において、価格への反応を推計するのに、土地条件の GIS データと農業経営情報を組み合わせたメッシュデータの利用が欠かせないと指摘している。最近では、圃場データの取得というだけでなく、竹田他(2011)のように、農業用水路の構造を明らかにし、上流・下流での水路への認識の違い等を社会ネットワーク分析の手法を用いて解明するといった新たな視点での研究も見られる。

3) 土地利用変化の推計と GIS

海外では、GIS が耕地・区画整理の評価研究に活用されている多くの事例がある。Gonzalez et al. (2004), Gonzalez et al. (2007)は、圃場の形状や圃場間の移動の効率性を分析し、最適な圃場の形状を分析した。同様の定量的な評価は都市計画のゾーニング研究にも多く見られ、Williams (1999)はイギリスの都市部のプランニングを定量的に評価している。Brabec et al. (2002)や Lin (2005)は、距離や形状、異なる土地利用間での接地面から評価基準を設け、ゾーニングの政策評価を行っている。その他にも、耕地整理の有無による農用地保全の効果を検討した Crecente et al. (2002)や、属性の異なる農家間での耕地整理の影響の差を見た Coelho et al. (1996)等の研究がある。

近年では、これまでのような耕地整理効果の事後的評価だけではなく、事前に GIS による区画整理のシミュレーションを土地所有者に提示するという試みもなされている。例えば、Cay et al. (2013)が GIS を用いた階層分析法によって区画整理案を 59 軒の土地所有者に示し、インタビューベースで作られた区画整理結果とアンケートで比較した結果、階層分析法による区画整理案の方がより高い満足度が得られている。

国内の研究では、下荒地(2000)や中嶋(2010)が基盤整備に関する研究を GIS を用いて行っている。その中で、中嶋(2010)は、農林水産省農村振興局「2006 年農業基盤整備基礎調査」のデータを利用し、日本全国の圃場を基盤整備状況に応じて 6 つのカテゴリーに分類した上で、それぞれのカテゴリーにおける潜在生産量を推計し、水田利用の見通しを立てている。GIS を活用した研究の中でも、経営分析や地域の土地利用計画論ではなく、生産調整についての経済モデルを踏まえ、日本全国における将来予測と政策分析を行った他に類例のない研究である。

4) GIS によるデータ構築の意義

ミクロレベルでの農業経済学における GIS 活用による意義として、以下の通

り、大きく5つ挙げることができる。それらは、必ずしもGISに固有のものではないが、その利用を簡便にしたり、推計の精度を向上させたりする効果が考えられる。

第1に、データの正確性や同質性の向上である。データの取得する上で、これまで聞き取りによる測定誤差の可能性が指摘されてきた⁶¹。第2に、位置データの入力と道のりや圃場の形状などのGIS独自のデータ取得が可能となることである⁶²。地図が十分に整備されていなかったり、地図があっても載っていない農道、農家の移動路についてもデータを取得できる。第3に、耕地整理やゾーニングの定量的な評価⁶³及び、環境リスク評価⁶⁴や土地利用区画の分散指標⁶⁵のような評価指標の改良・考案である。第4に、圃場移動や区画整理、土地の割り替えにおける最適化アルゴリズムの開発と実行及びシミュレーションが可能なことである⁶⁶。第5に、距離行列の作成と空間統計分析や空間計量経済分析⁶⁷、及び、隣接や距離による外部効果を踏まえた分析⁶⁸を行うことができる点である。

GIS活用にはメリットがある一方で、そのデータの取得や構築作業が大変煩雑であることが大きなデメリットである。そのためか、既存の研究では、圃場や通作データの取得、移動経路や耕地整理のGISによるシミュレーションは、空間計量経済学を含めた計量経済分析と併せて行われた研究例は見当たらない。しかし、農地の管理は個別の経営のみで行われるのではなく、周囲の圃場管理、水かけ関係や土地所有、経済要因も影響し、中嶋(2003)の指摘した多面的機能や圃場間移動の評価、耕地整理の評価は、一つの農業経営体ではなく集落を対象にして、農家の家計データを用いた形で経済分析されることが望ましいと考えられる。

そこで本研究では、第4章において、農家圃場ごとのGPSデータ取得と構築、GISアルゴリズムによる評価を行い、それを農家個票調査データと合わせて統計分析する。農家の圃場間移動等を推計し、Bentley(1987)に指摘されながらその後ほとんど改善の見られていない圃場分散の評価指標をGISで評価しつつ、その農業生産への影響を推計する。

⁶¹ 西村(2009)は農作業工程を正確に記録できること、Gibson et al.(2007)はGIS・GPSを使用することで分析条件を揃えられる点を挙げている。

⁶² 八木他(2004)のように、土地プロットを単位とした分析が可能である。また、Schroedl et al.(2004)やFathi(2010)はGPSを用いて道路地図データを拡張している。

⁶³ Gonzalez(2004), Lin(2005), Gonzalez(2007)を参照。

⁶⁴ Yu(2010)を参照。

⁶⁵ Wei(2012)を参照。

⁶⁶ 八木他(2004), 西村他(2012), Cay et al.(2013)など。西村他(2012)は、西村(2009)で得た移動経路データをもとに、GISを用いて圃場間移動のシミュレーションを行っている。

⁶⁷ Anselin(2002)を参照。

⁶⁸ 八木他(2004), 八木(2006)を参照。

第4節 リモートセンシング・GISを応用した土地利用研究

1) リモートセンシングデータとチューネンモデル

第3節で取り上げた Chomitz et al. (1996)は、リモートセンシングデータを用いた土地利用分析の中で、チューネンモデルに基づいた理論モデルを適用しているが、チューネンモデルは立地論の最も基礎的な理論である。Chomitz et al. (1996)のモデルでは、市や町の中心からの距離を生産物の正味価値の関数を左右すると位置付け、それをもとに、最適な土地利用が決定される枠組みを適用している。

チューネンの議論では、市場(都市)が中心に存在すること、市場の中心から離れるほど、輸送コストが増大すること、土地市場が完全であること、同心円状に同質の平坦な土地が延々と広がっていくこと、農民は利潤最大化のために合理的に行動すること等を仮定している。

これに対し、Alig (1986)は、チューネンモデルの仮定の妥当性をある程度認めつつも、過去、多くの批判や手法上の改良がなされてきたことを指摘する。そこで行われたレビューによれば、Healy et al. (1982)は、土地利用の変化における副次的な効果の存在を挙げて推計上の難しさを述べている。また Hoover (1984)や Barlowe(1986)は、現在の生産物価値だけではなく、未来に渡って期待される利潤を想定する必要があることを指摘している。実際のところ、場所・豊度その他によって土地の需要は決まるのだが、それらの要因の多くは時間とともに変化し予測が困難である。

Reynolds et al. (1969)は、チューネンモデルの仮定の一つである土地市場の不完全性についてまとめている。土地の位置が有する固有の特性や異質性は、モデル上の重要な論点となる。さらに、多くの場合、土地取引に参加する売り手も買い手も少数であり、競争的な条件が維持されないことも問題となる。また、チューネンモデルでは、森林と農地として同時に使用したり、また複数の作物を一緒に栽培したりといった複合的な土地利用を許さないという仮定にも課題があることを指摘している。

税や法制度などが土地利用へ与える効果に関しては、Bentick(1979)が体系的にまとめ、Waggener(1984)が特に森林に関わる制度について分析をしている。McKetta(1980)は、森林に関する税制度が「望まないような土地利用の変化を妨げるもしくは遅らせるための明確な目標を持っていて、土地の推定価格に影響を与えるメカニズム」のあること、したがってその存在自体が土地利用に影響を与えることを指摘している。

その他に、チューネンモデルは、距離を輸送コストや移動コストの代理変数

として扱い、その他の要素を排除してしまっている。これに関して、Chomitz et al. (1996)は労働コストについても都市や市場からの距離が遠くなるほど低くなる実態にも言及している。ただ、正味の生産費用や正味の生産物価値においては、この距離変数の位置付けがモデル上矛盾していないとしている。

図1はチューネンモデルとして最も単純な形式での土地利用の模式図である。潜在的な土地の利得（地代）は、生産物の収益から生産と輸送に関わるコストを引いた農家の利潤に等しい。農産物生産の利潤が0となる点で均衡し、それが図1中の野菜・穀物の直線上である。市場からの距離に応じて生産物価格の低下・輸送費コストの増大によって、地代が減少していく。例えば野菜は穀物より高価格で販売できるが、劣化しやすく出荷にコストが掛かる。したがって、生産物の価値である切片が高く、距離による劣化(生産物価格の低下)の度合いを示す傾きが大きく表されている。反対に、穀物は切片の位置が低く、傾きは小さい。それぞれの土地で最大の地代を実現する土地利用選択が行われるため、都市の近くでは野菜が、その外側では穀物が生産される。図1中の野菜・穀物の直線より上側で農産物生産を行った場合、利潤は0を下回るため、その土地利用は退出する。野菜・穀物の直線より下側の場合は、追加的な土地利用の利潤が0を上回るため参入し、均衡が実現している。

図1では、農作物の地代がゼロとなる点より外側では、森林として土地利用されると想定している。図では、市場からの測られた単純な直線距離を想定しているが、道路に沿った距離や高低差を勘案した距離を算出して市場アクセスに適用することもある⁶⁹。

⁶⁹ Nelson et al.(1997)を参照.

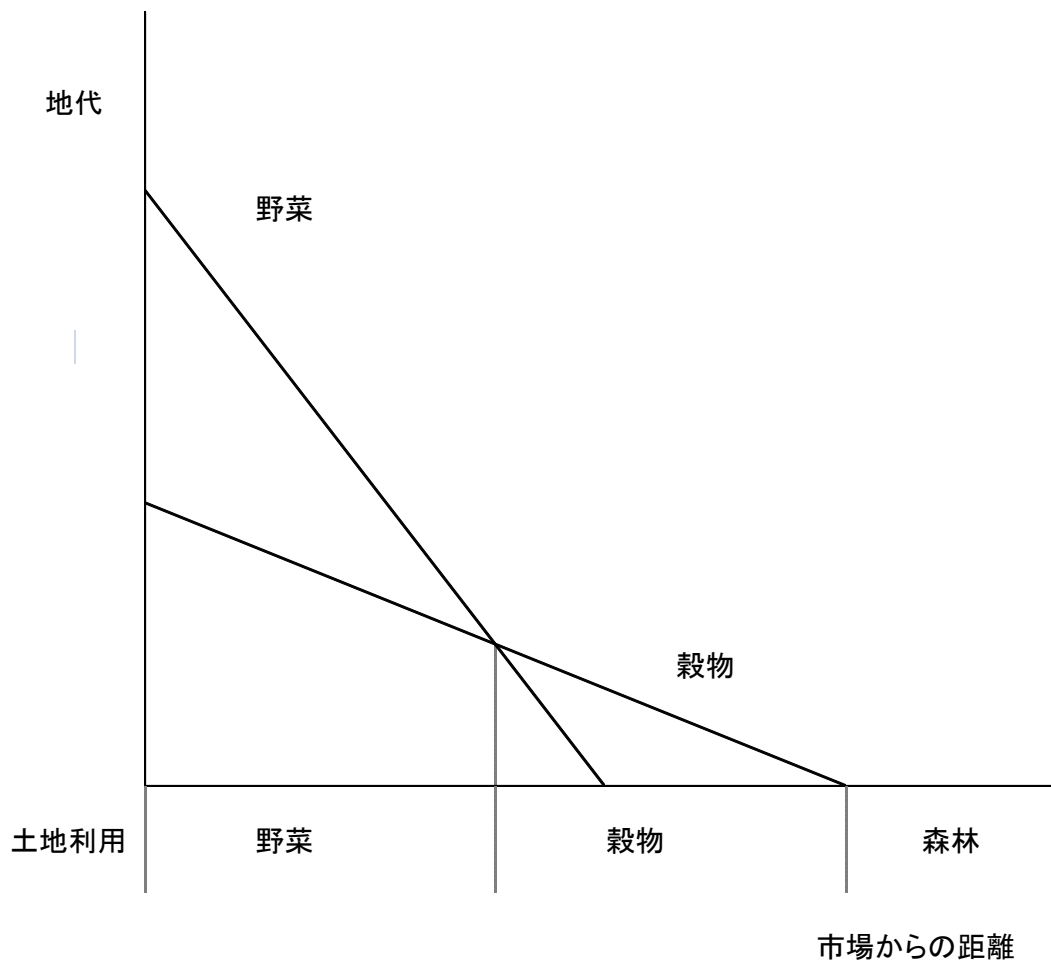


図 1 市場からの距離と地代・土地利用 Von Thunen (1966)より
 出所：Chomitz et al. (1996)より作成

2) チューネンモデル以後の立地論・付け値地代論

チューネン以後に進められた議論としては、都市の土地利用に関して社会学や地理学からの考察が行われている

、例えば社会学者のバージェスは1925年に提唱した同心円モデルを提唱している(Burgess 2008⁷⁰)。バージェスはLaunhardt, W. (1968)⁷¹による付け値地代理論を背景にして、土地利用を同心円状に中心業務地帯(CBD ; Central Business District)、遷移地帯、労働者住宅地、住宅地、通勤者地帯の5つに分けた。ここで、付け値地代理論では、チューネンモデルのように均質で平坦な土地において、都市間の人口の移動はなく、都市の中心であるCBDに全ての都市住民が通勤することを想定している。

同心円モデルでは、同じ立地点における住宅面積需要の差は所得に依存するとし、郊外に高所得者層が居住すると考えている。さらに地理学者のHoyt(1939)は、全米の142都市での住宅地価格調査の結果を基に、地価の分布が同心円ではなく扇状になっていたことから扇状モデルを提案している。

その中で、都市の土地利用について、Launhardt, W. (1968)の付け値地代理論に基づいて経済モデル化を行ったのはAlonso(1964)である。Alonso(1964)のモデルでは、都市住民は土地の面積とその他の財によって決まる効用を最大化し、同質的な選考を持つ。付け値地代理論において、地主は最も高く地代を払う借り手に土地を貸し出す。したがってある場所の土地に対して、最も高い評価を行った借り手がそこに立地する。借り手は、予算制約の中で、効用水準を維持しながら支払うことができる最大の地代を申し出る。

土地における付け値地代は、借り手が効用水準を達成しながら払える最大の地代と定義される。都市からの距離に応じて通勤のコストは上昇し、付け値による地価は低下する。チューネンモデルの場合とは異なり、ここでは都市部の地代はCBDからの距離に対して直線的であるという理由はない⁷²。また、土地はCBDからの距離に応じて価格が低下し、消費量が増加することに伴い区画のサイズは増大すると考えられる。そのとき、家計のサイズは一定であることを想定しているので、CBDから距離が離れるほど人口密度は低下する。

その後Alonso(1964)の研究は、その後、Wheaton(1974)によって比較静学分析が行われている。さらにWheaton(1977)は、通勤にかかる時間費用や心理的費用をモデルに含めた想定をした。そのとき、時間費用なども含めた限界交通

⁷⁰ Springer の再刊版である。

⁷¹ 英訳、原文1885年は発表。Shieh(2003)を参照。

⁷² 距離と地価の正確な関係は、借り手の無差別曲線が表す効用関数の形に依存すると考えられる。

費用が住宅地の広さに対する効用よりも所得に対して弾力的ならば、高所得者の付け値曲線の勾配は低所得者の曲線より急なので、高所得者の方が都市の中心部に立地すると考えられる。Wheaton(1977)の考察では、多くの都市で、高所得者が都市近郊に宅地を立地していることを説明している。

その後、立地選択や土地利用選択に関する計量経済学的な推計に関する研究が進んでいる。例えばランダム効用理論による離散選択モデルの利用が進み、Martinez (1992)は、Alonso (1964)の付け値地代論とランダム効用理論による離散選択モデルを比較し、完全競争土地市場においてこれらのアプローチが理論的に同等であることを示している。また、McMillen et al. (1998)はシカゴ郊外を事例に、付け値地代理論は住宅用地価が比較的低い場合、人口密度推定値にバイアスが発生しうることを指摘した。立地選択に関する実証的な予測も多く分析され、Hurtubia et al.(2011;2014)は、世帯の都市内での住宅立地選択に関するシミュレーションを行っている。

付け値地代論をうけた都市の拡大と土地利用に関する他の研究としては、Stanilov (2003)が、1960～1990年のシアトル郊外で、道路を通じたアクセシビリティが土地利用の都市的発展(都市部の面積拡大)と強く相関していることを示している。この分析のように、一般に、道路の建設と都市発展はその因果関係の特定が困難であるが、本研究では既に建設されている幹線道路の変数を用いて、土地利用への影響の観察を行う。Coison(2014)は、環境公共財の提供が付け値地代を通じ、郊外における住宅立地選択に与える空間的影響を明らかにしている。

中国を対象とした都市拡大の研究では、例えば Lichtenberg, et al. (2009)が中国政府の土地利用データを用いて、中国沿岸地方における都市面積の増大と地価の増大、農地の減少を計量経済学的に明らかにしている。

付け値地代に関連する研究は、国内の都市経済学や土木計画学でも盛んであり、GIS を用いて土地利用メッシュデータを使用し遷移確率行列を推定した大悌他(1996)やそのモデル改善を行った大悌他(1998)のようなデータ整備と推計手法面での発展、Alonso(1964)について農村部を含めたモデルに拡張した宅間他(1999)のような付け値地代モデルの発展、付け値地代による地価格差の存在が土地利用の変化を妨げていることを指摘した宇都他(2001)等の研究蓄積が見られる。例えば守田他(2003)は、宅地化確率の推計を行っている。

また、土地利用に関連し集積経済効果の推計も行われており、神頭(2013)が空間距離に基づく集積経済効果のモデルをまとめている。近年では唐渡(2002)のように、付け値関数を導入したヘドニック・アプローチによる推計が盛んである。唐渡(2002)は、集積の外部経済効果の計測を行っており、同様に森(2002)は、ヘドニック・アプローチによる環境評価手法をレビューしている。内藤(2009)は、

土地利用の硬直化に伴う社会的厚生水準の低下を問題意識とし、柔軟な用途変更とピグー税による土地利用の効率化の可能性を指摘した。

3) チューネンモデルの再評価とリモートセンシング・GISの活用

新たなモデルが提示され、いくつかの問題点は指摘されているが、チューネンモデルは依然として土地利用選択の基本的な考え方であるといわれる⁷³。実際に、Alonso(1964)のモデルを初めとした立地論のモデルは、チューネンモデルで農産物の市場として捉えた都市の中心を、CBDとして捉えなおした研究である。

また Nelson et al. (2002)は、土地利用推計の背景的な理論として評価でき、リモートセンシングデータやGISを活用した土地利用の分析にも活用できると指摘する。社会経済データ・統計が不足する地域を対象に、リモートセンシングデータを利用して農業土地利用を分析する際には、市場からの距離によって土地利用を考察可能なチューネンモデルの援用が最も効果を発揮すると考えられる。

本研究では、農業土地利用を分析するにあたり、リモートセンシング・GISによる空間情報を踏まえた分析との適合性と、実際の対象地での土地利用分布、都市部が農産物市場としての役割を果たしている事実から、チューネンモデルを援用する。ここで、チューネンモデルの課題として指摘されてきた課題は、その多くが改善の試みが可能であると考えている。

Reynolds et al. (1969)の指摘する複合的な土地利用の可能性という点に関しては、土地利用の種類について適切に設定する必要がある。リモートセンシングにおけるデータの作成や分類方法を工夫すれば、集計されたデータにおいて生じた複合的な土地利用を無視した問題を軽減できる可能性がある。期待される土地の利得にリスクを考慮した研究としては、アメリカ西部での土地利用規制の効果を分析した Wu et al. (2007)モデルがある。一方、Synder(1996)は森林の伐採を分析するにあたって、一定期間での森林の回復を考慮しながら利潤を最大化させる収穫周期の動学モデルを考案している。動学的な土地利用選択モデルは今後の研究課題でもあるが、GISを用いたマルチエージェントシミュレーション等の土地利用シミュレーション手法の開発も進んでいる⁷⁴。

立地点ごとの特異性や異質性に関して、数多くの土地利用研究では、地理的な変数を挿入することによって、その影響を扱おうと試みている⁷⁵。また土地の

⁷³ Fujita (2010).

⁷⁴ Verburg et al. (2004)を参照。

⁷⁵ Nelson et al. (1997), Hoshino(2001), Mainardi(2011), Li et al. (2013)など。

周縁への外部効果, 空間的自己相関の問題に関しては, 空間計量経済学 (Anselin 1988)によるアプローチや, 間隔を十分に取ってサンプル抽出するコントロール (Nelson et al. 1999)が有効であり, 計量経済学的推計に関する空間的作用の理論的な研究と手法開発は急速に進んでいる⁷⁶.

法制度が土地利用へ与える影響に関して, 例えば Chomitz et al. (1996)は国立公園などの土地を推計の対象から除外し, Irwin et al. (2001)は明示的にモデルに税を挿入している⁷⁷. Angrist(2008)のように, 多数のサンプルや複数の時点のデータが取得できれば, マッチングや DID の手法により, 計量的に政策効果を分離して評価することが可能となる. サンプルや変数を適切に取り扱うことによって, 制度の影響を評価した分析が行える.

4) 農業経済学関連分野におけるリモートセンシング・GIS を用いた実証分析事例

チューネンモデルを理論的背景とし, リモートセンシング・GIS を活用した土地利用経済分析には, Chomitz et al. (1996)や Nelson et al. (1997), Mertens et al. (1997;2000), Pfaff(1999), Nelson et al. (2001), Muller et al. (2002), Munroe et al. (2002), Li et al. (2013)がある. 多くの場合, 主食用作物生産, 商品作物生産, そして草地や森林などの粗放的な土地利用に分類している. Chomitz et al. (1996)では, 道路や市場との距離による土地利用の変化を考察し, 市場が遠いほど商品作物生産地である畑が減少することを実証的に示した. また, 道路が造られて実質的な市場との距離が減少した場合に, 畑地が増加し森林が減少すること, 同時にそこに土地の豊度が大きく影響していることが指摘されている.

Munroe et al. (2002)は, 標高の低い地域や市場に近い地域で商品作物の作付確率の高いことを示している. さらに, 木材の売買のための伐採や耕地拡大による経済行動による森林減少を指摘しているが, 逆に森林の自然再生も同時に発生していることを述べ, 森林等の土地面積変化が複雑であるとしている. Mann et al. (2010)は, 空間的な自己相関を考慮しつつ, レントも説明変数に用いて, 道路への距離が短い地点やレントが高い地点で, 森林が農地へ転換されやすいことを示した.

⁷⁶ Anselin(2010)を参照. Takahashi(2013)のように, 標高差の激しい地域に対して高さの概念を加味した空間計量経済モデルを開発している例も見られる.

⁷⁷ 実際に土地利用政策の分析を目的にした研究は数多く存在する(McMillen et al. 1993; Bockstael et al. 1995; Irwin et al. 2002; Irwin et al. 2003).

Nelson et al. (1997)や Muller et al. (2002)は、GISによりデータを整備しつつ、耕作地や灌漑地全体として見ると、交通の発達等により作付けの限界地が拡大し、耕地面積は増大することを数量的に明らかにした。Nelson(1997)は、発展に伴う主食用作物の生産地の面積増加を指摘している。一方、Wang et al. (2010)は、経済発展に伴う商品作物の作付け増大や市街地の拡大によって、水田や主食用作物生産地面積はむしろ減少すると結論している。同様に Seto et al.(2003)は、珠江デルタにおいて、大規模な工業発展投資が市街地の拡大に大きく影響しその他の土地利用が減少したことを示している。Li et al. (2013)は、中国全土のリモートセンシングデータを基にした土地利用を空間計量経済モデルを用いて分析している。

また、広範囲の森林や農地面積の変化を定量的に把握する際にも、リモートセンシング解析は有効である。Pfaff(1999)は、同様のチューネンモデルに基づいた推計によって、ブラジルアマゾン川流域における森林減少の決定要因を明らかにし、人口密度の上昇は森林減少に直接的な効果を持たないが、道路の近接性は有意に影響することを示した。さらに Pfaff et al.(2007)は、Chomitz(1996)のモデルを森林と森林以外の土地利用に分割した形に発展させ、期待収益を比較している。アマゾン川流域では、100km 以内及び 300km 以上の新設道路が森林の減少に影響することを明らかにした。Nelson et al.(2001)は、国立公園や法的財産権の保護といった法制度の森林保全への影響を推計し、先住民の法的財産権は、国立公園の法的保護より森林保全に対し重要であると結論している。Geoghegan, et al. (2001)は、リモートセンシングデータに家計調査のデータをマッチングさせ、インフラだけでなく教育や固定資本の変数も導入した推計を行い、教育や標高が森林減少に負の効果を持つことを明らかにした。Mertens et al. (1997;2000)は、カメルーンでの森林減少要因を定量的に分析した。明示的ではないものの、そのモデルの背景にはチューネンモデルがあると考えられ、市場からの距離を推計に用いている。

リモートセンシングデータを用いたその他のモデルによる研究は以下である。

Andersen (1996)は、1975 年～1985 年における異なる制度の行われたアマゾンの森林減少について事例分析を行っている。Walker(2004)は、アマゾン流域の熱帯雨林を対象に、チューネンモデルに基づいた理論モデル、一期前の土地利用から次の土地利用を予測するマルコフ連鎖モデル等の利用をレビューしている。Place et al. (2000)は、2SLS によって木のカバー密度変化量の推計を行っている。人口、市場へのアクセス等の変数から、東・中央ウガンダで 1960 年から 1995 年の期間を分析し、人口圧力と慣習テニユア制度の下で森林から農業への土地転換がより増大していることを明らかにした。

Lubowski et al.(2006)は、土地利用変化データと県ごとの農業利潤データを

用いて、政策による土地利用/土地被覆の変化とそれによるカーボンコントロールの効果を見ている。Srivastava et al. (2010)は、リモートセンシングデータを用いてインド・パンジャブエリアにおいて1991年から2007年の土地利用/土地被覆の変化を分析し、経済発展と土地消費率著しい変化を観察している。

以上の研究に対し、リモートセンシングデータを用いないが、チューネンモデルに基づいたモデルによる土地利用の経済学的推計を行っている例は、Blackman et al. (2008)や Barbier et al.(1996), Barbier (2001)である。Blackman et al. (2008)は、メキシコ南部のコーヒー産地における土地被覆の違いを空間計量経済分析し、地域市場への距離や土地質、協同組合の有無が自然林の転用に影響することを指摘している。同じく、Barbier et al.(1996)は、チューネンモデルの枠組みで貿易自由化の影響を分析し、牛肉上昇価格による森林の減少のシナリオをシミュレーションしている。Barbier (2001)は、熱帯雨林からの変化の有無を計量経済学的に推計し、GDPや農業輸出が森林減少を助長することを示した。

リモートセンシングを活用せず、土地利用変化を推計する際によく用いられる土地利用転換の分析モデルは Stavins et al.(1990)により定式化されている離散選択モデルである。このモデルは、1期間の期待利潤が土地利用転換費用より大きい場合にそれぞれの土地利用を転換すると想定している。Plantinga (1996), Bockstael (1996), Bockstael et al.(2001), Lewis et al. (2007), Rashford et al. (2011)は、このモデルによって、土地利用の変化を推計している。これらの研究は、網羅的に土地利用を推計する試みではなく、森林の減少等の特定の土地利用変化の有無を、豊富な社会経済データをもとに経済学的に推計するという動機が強い。分析は、比較的地域の統計の充実した地域に限られるが、元の土地利用が何であったを明示的に加味する点に、Chomitz et al. (1996)や Nelson et al. (1997)の土地利用決定モデルと比較した優位点がある。

Plantinga (1996)は、牛乳価格支持の削減は、限界農地の減少から森林の減少や土壌浸食を軽減し、水質が改善されることに繋がるとしている。Bockstael (1996)は、都市化と環境の劣化について、空間的に明示的な hedonic モデルをまず推計して住宅地価を求め、その変数を用いてさらに土地の市街地への転換確率を推計している。Bockstael et al.(2001)では、動的にモデルを拡張している。Rashford et al. (2011)は、北中米における土地利用の変化を分析し、土地質と農業利潤が農業土地利用の大きな要因となっていることを示した。Irwin et al.(2001)は、土地利用に関する論文とモデルをレビューしつつ、Bockstael (2000)のモデルを参考にワシントン周辺の都市拡大について考察している。

近年では、Caviglia-Harris et al.(2008)がリモートセンシングデータによる土地被覆と家計から収集された社会経済データを用い、アマゾンでの牧草地と農

地の生成要因について推計している。生産物による土地収益の最大化を仮定しているが、価格は地域で一定とされ、推計モデルに入れられていない。

Alix-Garcia et al.(2012)は、1989年から2000年のリモートセンシングデータを使用し、ポーランド、スロバキア、ウクライナの国境地域における農地の放棄要因をトービットモデルにより推計した。ポーランドは生物物理的特性によって、ウクライナは農地改革と外部雇用機会によって耕作放棄が増大していることを発見している。

以上のように多様な研究が見られるが、本研究では、価格などの社会経済データが限られ、かつ地域全体の土地利用を推計しその分布の変化を明らかにすることを目的とするために、チューネンモデルを背景とした Chomitz(1996)のモデルの応用を試みる。Stavins et al.(1990)の研究のように、土地の転換において元々の土地利用に注意を払うという点に関しては、第3章で「水田」土地利用のみを抽出することによってデータからの対処を試みている。このデータサンプリングは、本研究でデータセットの構築から分析を一貫して行っているために、統計が十分でない地域で初めて実現できたことである。

5) 関連分野におけるリモートセンシング・GISを用いた実証分析

農業経済分野の中の研究ではないが、リモートセンシング・GISを用いて土地利用/土地被覆変化を見る研究には、予測の推計精度の向上を目的としたもの、標高や距離といった地理的情報やマクロ社会経済統計と土地利用とを突き合わせて、それらの変化の要因を単純に考察した研究も多い⁷⁸。例えば Liu et al.(2008)は、伐採や植林禁止の金銭的インセンティブによる森林植生増加の効果を見ている。Long et al.(2007)は、社会経済的な発展と都市のスプロール化による耕地の減少を明らかにしている。これらは経済モデルを明示せず、センサスデータ等を用いて、人口やGDPと土地利用の変遷との比較を行っている。

Wyman et al.(2010)は経済学的モデルは持たないが、家計調査を併せて行い、地域の林地の減少に関係する家計属性を明らかにしている。

Irwin et al.(2001)がまとめているように、地理学や立地論の分野では、観察される土地利用を基に、その後の変化を明らかにする実証研究が蓄積されている。経済合理的なモデル化はせず、一期前の土地利用が時期の土地利用影響を与えることを想定して土地利用を推計するセルオートマトン⁷⁹のモデル推計などがこれらの研究に数えられる。その多くは土地利用/土地被覆の推移予測と実

⁷⁸ Verburg et al.(2004)などを参照。

⁷⁹ 格子状セルのt期からt+1期への離散的変化モデリングであり、White et al.(1997)に詳しい。

際の土地利用の比較を行っている。

セルオートマトンの研究の中では、ランダムな遷移を伴うモデル化という点で、Batty et al.(1989)による拡散凝集モデル(DLA)の地理的な分布、都市拡大の検証への応用が先駆的事例となる。また、White et al.(1993)は米国の都市化データを用いて、時系列変化の中での空間的な都市土地利用変化をモデル化しており、体系としてセルオートマトンを土地利用分析に適用した事例である。その後も、1940年～1990年の不連続データを基にモンテカルロ法を用いたモデルを構築し、サンフランシスコ沿岸部の都市化を推定している Clarke et al.(1997)、遷移過程に関する仮定の違いによる差異を見た Lai(2003)の研究など、実証・理論両面での蓄積が見られる⁸⁰。国内でも、予測の基準となるトレーニングデータの設定による推計精度の差を比較した深堀他(1997)の研究や、マルコフ連鎖分析や多基準評価を用いて将来の土地利用/土地被覆の予測の推計精度を検証した藤居他(2007)の研究が見られる。

関連する研究でリモートセンシングデータを活用した事例は、広東省の東莞市における Yeh et al.(2003)や、同省珠江デルタでの都市発展と土地利用計画の評価に関する Li et al.(2002)がある。カリフォルニア州サンタバーバラでの都市開発政策の影響を見た Herold et al.(2003)や、サンパウロでの都市の土地利用遷移をシミュレーションした Almeida et al.(2005)など、実際の都市開発の評価や、具体的なシミュレーションを分析の焦点とした論文が見られる。

中国を対象とした実証研究では、他に、中国南部の都市の拡大を対象にシミュレーションモデルの改善を試みた Wu et al.(1998)、北京での都市拡大とその水資源への影響を推計した He et al.(2006)やそのモデルを改善した He et al.(2008)を挙げることができる。その中で Weng(2002)は、珠江デルタにおいて急速に森林資源が荒廃した地域を特定し、リモートセンシングと GIS を結合した分析が土地利用/土地被覆変化の推計に効果的なアプローチであると述べている。しかし、中国における上記の研究はいずれも発展の進む沿岸部地域を対象としており、本研究のような、開発の遅れる内陸部や西部における研究は現在のところほとんど見られていない。現在から未来にかけての開発によって経済活動や土地利用の構造が大きく変化する内陸部・西部における実証的研究の蓄積は中国という地域の研究課題の一つであるといえる。

6) 土地利用推計に対する GIS のさらなる活用

一期前の土地利用から、GIS を活用してより正確かつ詳細にその後の土地利用

⁸⁰ その後の細分化されたセルオートマトンのモデルについては、Santé(2010)が遷移のルールごとにモデルを6つのタイプに分類しまとめている。

用/土地被覆の変化をシミュレーションするモデルの研究も進められている⁸¹。開発された土地利用/土地被覆の予測モデルで最も有名なのは、Hilferink(1999)の land use scanner モデルや、Verburg et al.(2002; 2007)が開発・適用する Clue-S モデルである。land use scanner モデルは、種々のモデルの中で経済学的な動機が最も強く、土地利用の様々なタイプの付け値地代に応じて、土地を割り当てるアルゴリズムを持っている。

Verburg et al.(2002)で示された Clue-S モデルは、より詳細で正確な土地利用の予測を目的としており、動学かつ空間的に明示的にデータを用いて土地利用変化をモデル化している。フィリピンやマレーシアでの検証を踏まえた Verburg et al.(2002)など、この Clue-S モデルは、都市拡大だけでなく、森林伐採や耕作放棄を含む土地利用の変化等、広い範囲での研究に適用されている⁸²。Verburg et al.(2007)では、オランダ東部の景観やマレーシアのクアラルンプールの都市化を対象に、シナリオベースの土地利用変化シミュレーションを行っている。その他、セルオートマトンでの動学的推計を行う Environment Explorer モデル(Engelen et al. 2003)などが実証研究に用いられている。

これらの様々な土地利用/土地被覆予測モデルは、それぞれの特徴が Pontius et al.(2008)において網羅的にまとめられている。モデルは土地利用選択の経済学的な要因分析には向かないが、条件を変えたシミュレーションに使用することで、農業経済分野での土地利用変化の考察にも大いに活用されうると考えられる。

⁸¹ Ludeke et al. (1990)など。Verburg et al.(2004)を参照。

⁸² Verburg et al.(2004)を参照。

第 2 章 中国雲南省の土地利用/土地被覆

第 1 節 分析対象地域とその特徴

1) 雲南省の概要

図 2 の水色部分が雲南省の位置を示している。雲南省は中国の南端に位置しており、ベトナムやラオス、ミャンマーの三カ国と国境を接する。少数民族の多いことが知られており、2010 年で 38.1%が漢民族以外のハニ族やイ族、タイ族といった少数民族である⁸³。

表 5 は中国全体と雲南省それぞれについて、人口、一人当たり名目 GDP、その成長率を示したものであり、それをグラフ化したのが図 3 である⁸⁴。図 3 で示されるように、雲南省は一人当たり GDP が中国の平均より 5 割近く低く、中国国内の省別にみた時の順位は 2011 年時点で 33 省中 29 番目であり⁸⁶、中国の中でも経済発展が遅れた地域といえる。

経済成長率は高く、2011 年度で一人当たり GDP は 23%と大幅に伸びている。1980 年代後半から、2000 年前後とリーマンショックの影響が見られた 2009 年を除いて、GDP は対前年比でおおむね 10%以上の高い伸びを示している。図 3 に見られるように、GDP の変化率(成長率)は、中国全体と雲南省でほぼ同じ動きをしている。

国境を接するミャンマーやベトナム等の隣接国との貿易が、この経済成長に寄与しており、2007 年における輸出入総額は、ミャンマー 6.27 億ドル、ベトナム 2.16 億ドルで、それぞれ前年比 23.2%、46.3%増加している⁸⁷。雲南省からの最大に輸出品は農産物のタバコである⁸⁸。本研究の分析対象地域でも、タバコの作付けは確認されている。

⁸³ 雲南省統計局(2011)を参照。

⁸⁴ 連続的な統計データの取得可能な 1978 年以降に限られる。

⁸⁵ 中国政府は開発指標として一人当たり GDP を重視している(雲南省統計局 2011; 中国統計局 2012)。

⁸⁶ 雲南省統計局(2011)を参照。

⁸⁷ 畢(2008)を参照。

⁸⁸ 施(2005)を参照。



図 2 雲南省位置

出所： Google Earth (earth.google.co.jp/) をもとに筆者作成

計画生育政策の影響で、人口の伸びは小さい。計画生育政策は少数民族に対しては基準が緩くされる場合や、免除される場合もある⁸⁹。しかしながら、少数民族比率の高い雲南省においても、2000年以降1%前後で推移し、2012年の人口増加は0.6%である。したがってGDPの成長は、一人当たりGDPの伸びによるところが大きい。

⁸⁹ 聞き取りでは、雲南省の対象地域では、ハニ族やイ族といった少数民族は二児までもうけても罰則がない(一般的な漢民族は二児以上もうけると罰則が適用される)。

表 5 中国全体・雲南省 人口・一人当たり GDP

年	中国全体 人口 (万人)	雲南省 人口 (万人)	中国 一人当たり 名目GDP (元)	雲南省 一人当たり 名目GDP (元)	中国 一人当たり GDP変化率 (%)	雲南省 一人当たり GDP変化率 (%)
1978	96259	3058.0	381	226		
1979	97542	3113.1	419	247	9.97	9.29
1980	98705	3154.1	463	267	10.50	8.10
1981	100072	3198.1	492	294	6.24	10.11
1982	101654	3252.9	528	339	7.24	15.31
1983	103008	3307.0	583	363	10.40	7.08
1984	104357	3351.5	695	416	19.31	14.60
1985	105851	3395.1	858	486	23.39	16.83
1986	107507	3449.5	963	528	12.28	8.64
1987	109300	3507.0	1112	653	15.49	23.67
1988	111026	3564.0	1366	845	22.76	29.40
1989	112704	3621.0	1519	1003	11.24	18.70
1990	114333	3689.3	1644	1224	8.23	22.03
1991	115823	3756.4	1893	1377	15.13	12.50
1992	117171	3806.9	2311	1625	22.10	18.01
1993	118517	3858.4	2998	2030	29.74	24.92
1994	119850	3912.2	4044	2515	34.87	23.89
1995	121121	3964.4	5046	3083	24.77	22.58
1996	122389	4015.6	5846	3779	15.86	22.58
1997	123626	4067.8	6420	4121	9.82	9.05
1998	124761	4118.9	6796	4446	5.85	7.89
1999	125786	4168.1	7159	4558	5.33	2.52
2000	126743	4240.8	7858	4770	9.77	4.65
2001	127627	4287.4	8622	5015	9.72	5.14
2002	128453	4333.1	9398	5179	9.00	3.27
2003	129227	4375.6	10542	5662	12.17	9.33
2004	129988	4415.2	12336	6733	17.01	18.92
2005	130756	4450.4	14185	7802	15.00	15.88
2006	131448	4483.0	16500	8927	16.32	14.42
2007	132129	4514.0	20169	10609	22.24	18.84
2008	132802	4543.0	23708	12570	17.54	18.48
2009	133450	4571.0	25608	13539	8.01	7.71
2010	134091	4601.6	30015	15752	17.21	16.35
2011	134735	4631.0	35181	19265	17.21	22.30

出所：雲南省統計局（2011）中国統計局(2012)をもとに筆者作成

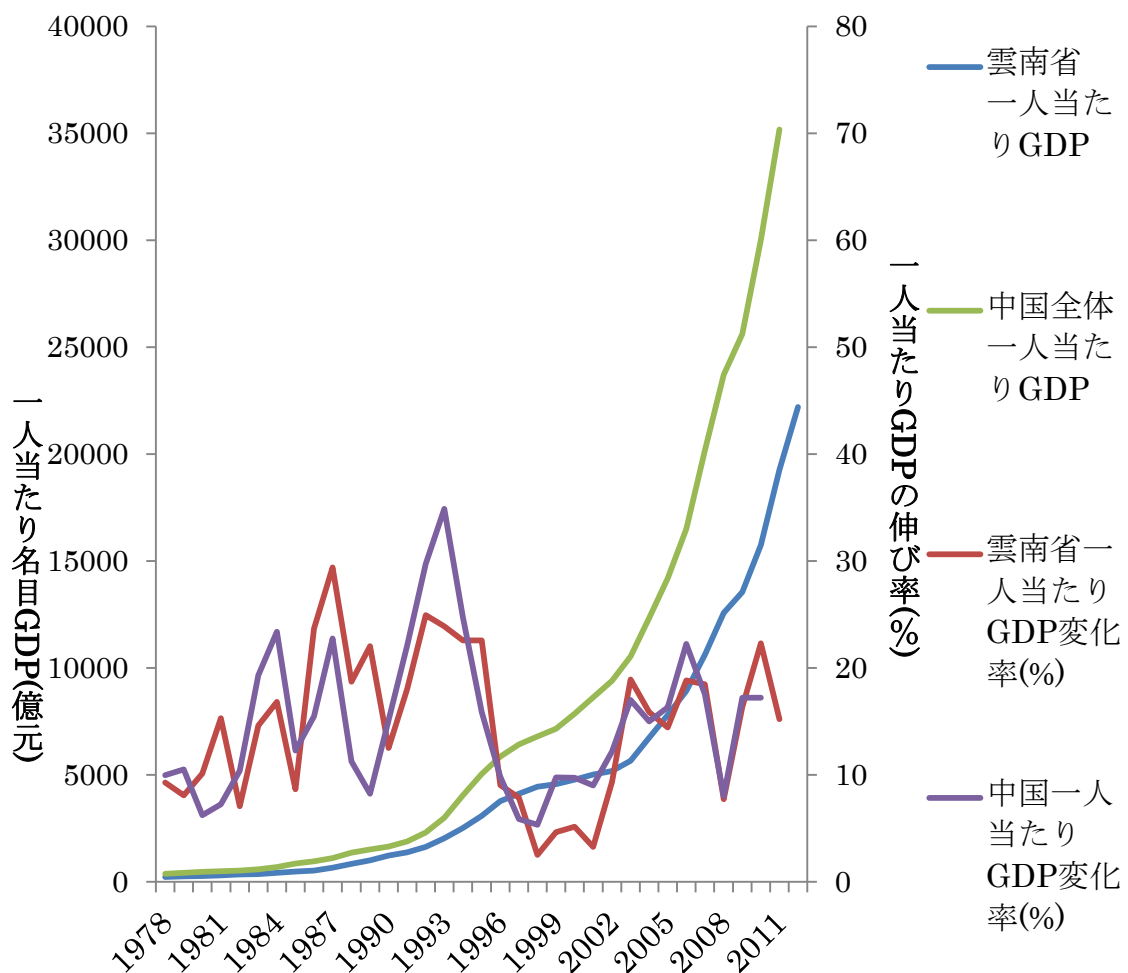


図 3 中国全体・雲南省 一人当たり GDP の伸び

出所：表 5 より筆者作成

表 6 は、雲南省の GDP と第一次、第二次、第三次産業の構成比を比較し、図 4 はそれを図示したものである。1978 年時点では第一次産業が全体の 42% を占めていたが、2012 年時点には第一次産業の比率は 16% 程度にまで減少し、産業構造が大きく変化している様子が分かる。1980 年代後半以降も、第二次産業は経済成長の中でそのシェアを確保しているが、具体的には、地域開発に伴う建設業等の他に、埋蔵量が全省で最も多いリン鉱石や、有色金属などの豊富な鉱物資源の採掘が盛んになっている⁹⁰。また、最も成長の著しい第三次産業では、

⁹⁰施(2005)を参照。

省都の昆明市の発展の他、石林県や西双版纳(シーサンパンナ)、分析対象地域であるハニ族棚田も含めた少数民族村などの観光業が発達している⁹¹。

表7では農産物生産量を示している。雲南省は全土に渡って水稲作が広がっている。主食は米で、温暖湿潤な気候もあり、小麦はほとんど作られず、表中の「糧食」は、米、小麦やトウモロコシ等の穀類に、イモ類や豆類も加えた中国特有の食糧指標であるが、その大部分は米とトウモロコシで占められている。経済作物としては、表7に見られるサトウキビやバナナ等の果樹、茶やタバコが主要な作物である。糧食の生産量の伸びに比べて、経済作物の生産量の伸びが遙かに大きく、雲南省では、農産物の構成が大きく変化してきた。また、南部では、自然林を転換したゴムの生産も増加しているが⁹²、これによる自然林の減少による環境劣化や、少数民族の伝統文化の喪失などの問題点が指摘されている⁹³。

雲南省を扱った日本の既存研究には、土地利用の経済分析を行ったものは見られないが、棚田の造成・文化や自然環境、少数民族の生活に着目した地域研究は多い⁹⁴。波平(2004)は、中国人執筆者による政策や成果を紹介しながら、1990年代後半以降の中国政府による西部大開発政策と雲南省に与えた社会的な影響をまとめている。

中兼(2002)は、雲南省においてマイクロ調査を行った数少ない経済分析の事例であり、石林県を対象にして、少数民族や観光業、食料流通政策の変化と経済発展を考察している。中でも王(2002)は、石林県において1980年代以降の市場流通自由化の進展から、非価格的な要素の影響もあるものの、価格の上昇が見られた小麦の作付面積が増加したことを指摘している。施(2005)や畢(2008)は、国境が隣接するベトナムやミャンマーとの貿易について経済分析を行い、現状と今後の貿易障壁緩和の施策や、一層のインフラ整備の必要性について論じている。

⁹¹ 車(2004)、何(2004)、孫(2012)、橋谷(2013)など。特に橋谷(2013)は、観光地化に失敗する民族村の事例も取り上げ、少数民族観光業の成功要因に、政府等の大規模な融資の有無を指摘している。

⁹² 磯野(2013)を参照。

⁹³ 深尾(2004)を参照。

⁹⁴ 手塚(2006)、孫(2010)、前田(2010)、黄(2011)を参照。

表 6 雲南省 GDP と産業別構成比

年	雲南省全体 名目GDP(億元)	第一次産業 GDP構成比(%)	第二次産業 GDP構成比(%)	第三次産業 GDP構成比(%)	雲南省全体 GDP変化率(%)
1978	69.05	42.66	39.94	17.39	
1979	76.83	42.14	39.70	18.16	11.27
1980	84.27	42.59	40.32	17.09	9.68
1981	94.13	43.80	38.03	18.17	11.70
1982	110.12	42.72	38.49	18.79	16.99
1983	120.07	41.08	39.38	19.54	9.04
1984	139.58	41.07	38.96	19.97	16.25
1985	164.96	40.05	39.65	20.30	18.18
1986	182.28	39.13	38.86	22.02	10.50
1987	229.03	36.70	36.81	26.49	25.65
1988	301.09	34.37	37.33	28.30	31.46
1989	363.05	32.78	38.03	29.19	20.58
1990	451.67	37.22	34.94	27.84	24.41
1991	517.41	32.76	34.70	32.54	14.55
1992	618.69	30.19	35.40	34.40	19.57
1993	783.27	24.44	41.57	33.99	26.60
1994	983.78	24.01	43.57	32.41	25.60
1995	1222.15	24.77	43.76	31.48	24.23
1996	1517.69	23.77	44.08	32.16	24.18
1997	1676.17	23.09	44.38	32.53	10.44
1998	1831.33	22.03	44.68	33.29	9.26
1999	1899.82	21.42	42.74	34.80	3.74
2000	1955.09	22.31	43.13	34.56	2.91
2001	2074.71	21.72	42.49	35.80	6.12
2002	2232.32	21.08	42.62	36.30	7.60
2003	2465.19	20.40	43.38	36.23	10.43
2004	2959.48	20.42	44.41	35.17	20.05
2005	3472.34	18.90	41.75	39.35	17.33
2006	4001.87	18.77	42.73	38.50	15.25
2007	4722.55	17.73	43.16	40.16	18.01
2008	5692.12	17.93	43.09	38.98	20.53
2009	6169.75	17.30	41.86	40.84	8.39
2010	7224.18	15.34	44.62	40.04	17.09
2011	8893.12	15.87	42.51	41.63	23.10

出所：雲南省統計局(2011)より筆者作成

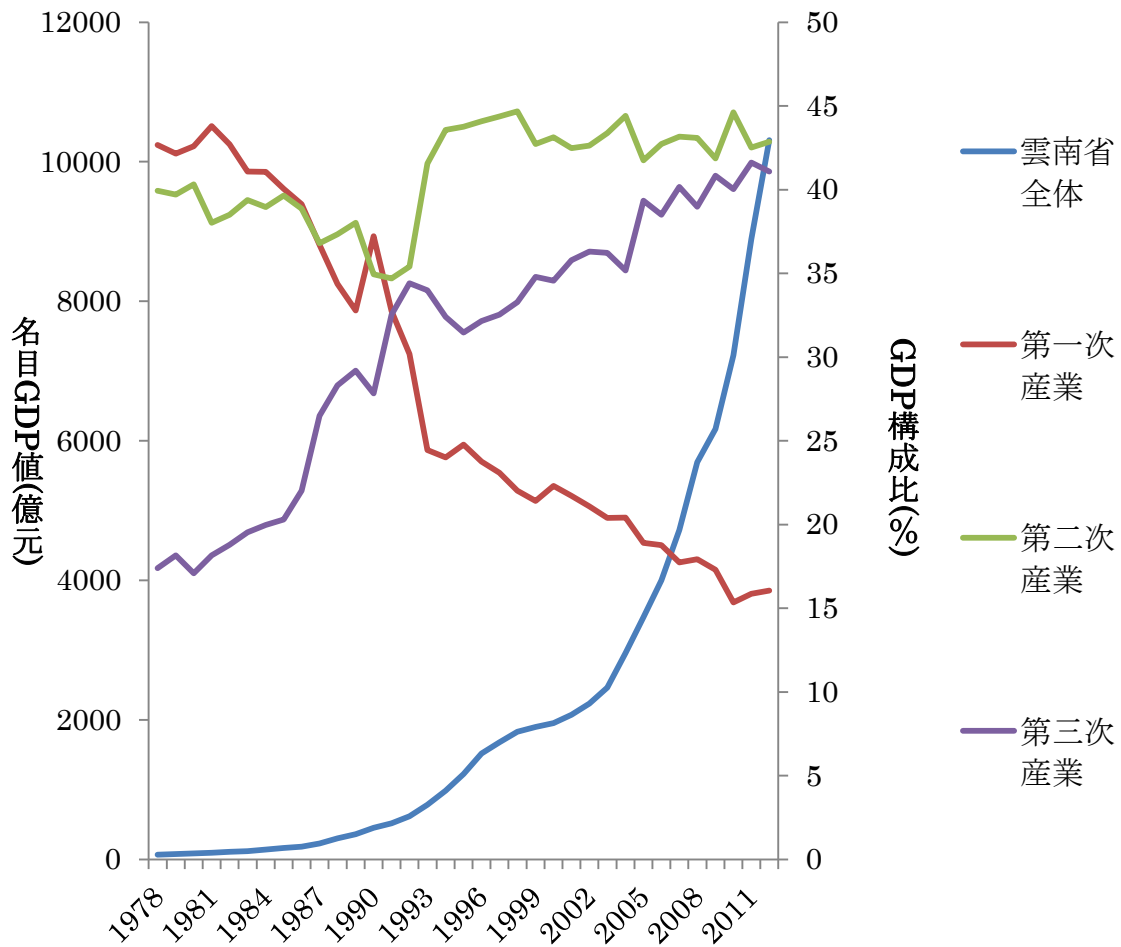


図 4 雲南省 名目 GDP と産業別構成比

出所：表 6 より筆者作成

表 7 雲南省の農産物生産量(万 t)

年	糧食	油料	サトウキビ	果樹	茶	畜肉
1978	864.1	5.51	160.0	12.26	1.78	29.23
1990	1061.2	13.31	661.9	31.97	4.48	74.74
1995	1188.9	19.58	1055.9	55.71	6.40	120.45
2000	1467.8	26.98	1420.3	76.95	7.94	191.51
2005	1514.9	36.22	1415.5	136.63	11.59	277.31
2010	1531.0	34.23	1750.9	341.64	20.73	285.32

出所：雲南省統計局(2001), 雲南省統計局(2011)より筆者作成

註：糧食とは、米、小麦、トウモロコシ、コウリヤン、アワ、その他の雑穀に、イモ類、豆類を加えたものである。脱穀後の重量(もみ殻込み)で量り、イモ類は生鮮重量を 1/5 にして換算される(雲南省統計局 2011)。

2) 元陽県及び隣接 3 県の特徴

本研究の分析対象地域は、図 5 の中国雲南省全図での中国雲南省紅河ハニ族自治州(図 5 中のクリーム色部分，以下紅河自治州) において南部に位置する 4 県である。図 6 は同自治州を切り出した地図であり，分析対象地域である元陽県・紅河県・緑春県・金平県は，それぞれ青色，赤色，緑色，黄色に色分けされている⁹⁵。第 2 章，第 3 章ではリモートセンシングデータを用いて 4 県をまとめて分析し，第 4 章では元陽県の集落について個票調査と GIS データを用いた分析を行う。

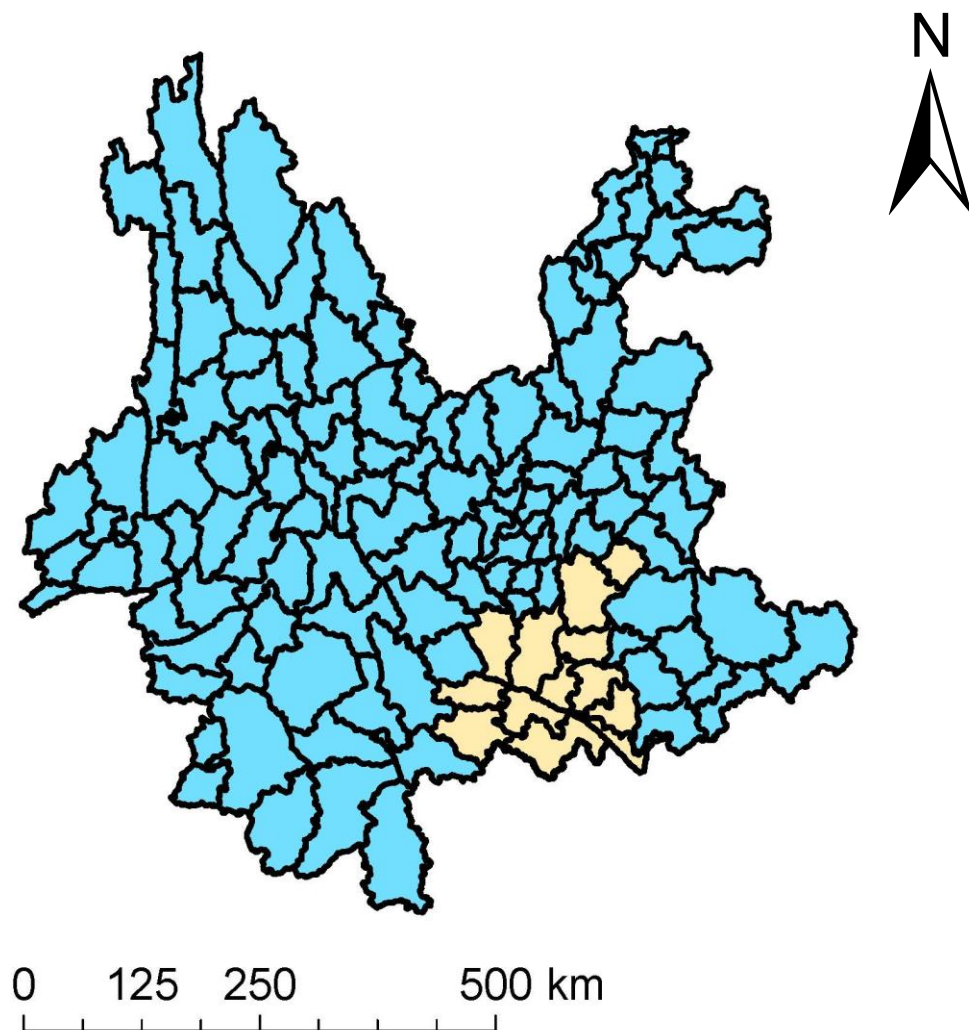


図 5 雲南省地図
水色：雲南省 クリーム色：紅河自治州

出所：筆者作成

⁹⁵ 2009年7月31日～8月9日，2010年2月19日～3月3日の計二回現地調査を行った。

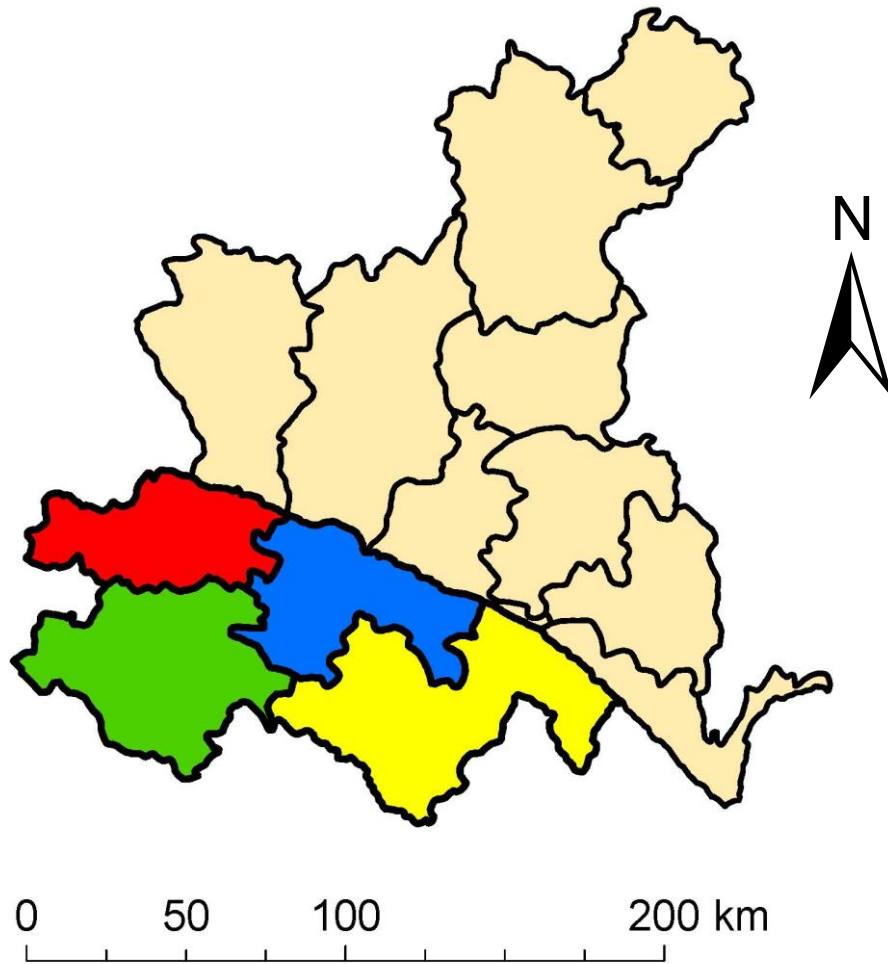


図 6 紅河イ族ハニ族自治州
紅河県(赤)・元陽県(青)・緑春県(緑)・金平県(黄色)

出所：筆者作成

紅河自治州は雲南省の中でも南東部の東経 101 度 46 分～104 度 17 分，北緯 22 度 26 分～24 度 46 分に位置し，ベトナムとの国境を含む。総面積は 3 万 2,931km²で，その 85%は山岳地帯が占めており，標高が高く，起伏に富む。気候的な特徴として，高標高地帯での冷涼な気候と低標高地帯での亜熱帯性の気候が併存している。産業としては農林水産業が中心であり，2009 年次の人口 437.3 万人のうち農業戸籍者の人口は 344.69 万人にのぼる。GDP 全体 429.75 億元のうち，第一次産業が 78.85 億元で 18.4%を占めている。経済成長率は 2007 年，2008 年，2009 年で 11.9%，11.4%，11.2%と高い水準を維持している。また，雲南省は中国国内でも 2 番目に少数民族が多いのだが，紅河自治州は特に少数民族が多く，240.89 万人と全人口の 57.54%を占める。中でもハニ族，イ族

がそれぞれ 72.35 万人, 101.77 万人と人口の 17%, 24%を占める。民族や村ごとの多様な文化が見られる。

4 県の特徴は, 以上に述べた紅河自治州の地理的な特徴, 産業の特徴や民族の特徴をさらに色濃くしたものである。表 8~表 10 は 1990 年から 2010 年までの 10 年ごとの対象 4 県の概況をまとめたものである。表から分かるように, 対象地域の県政府は温暖湿潤~亜熱帯の気候帯にある。気温は標高によって大きく変化するが, 特に南部の緑春県・金平県では降水量が多い。

元陽県, 紅河県, 緑春県, 金平県での第一次産業の比率は, それぞれ 2000 年において 50.7%, 60.1%, 46.2%, 55.2%と非常に高い。2010 年になると 33.1%, 42.0%, 30.5%, 25.0%といずれも大幅に低下しており, 特に金平県での低下が著しい。それでも第一次産業の比率としては依然として高く, また, 農業戸籍者比率はほとんど変化せず, 全ての県で 90%を超えている。

第一次産業以外では, 元陽県では棚田や少数民族の民俗村を観光資源とした観光業が盛んで⁹⁶, 緑春県では金や銅などの鉱物の採掘が盛んである⁹⁷。商品作物は茶やバナナの生産が見られ, 対象地域の南部ではゴムの生産が盛んである⁹⁸。現地での聞き取りによれば, 水稻の生産は半自給作物であり, 換金性の高い作物が栽培できる土地がある場合には, 積極的にそちらの作物を栽培する。第一次産業比率が低いこととの関連性が考えられるが, 南部でバナナやゴムの生産が盛んな金平県は, 一人当たり GDP が最も高い。

少数民族の全人口に占める比率は, 元陽県, 紅河県, 緑春県, 金平県でそれぞれ 88.3%, 95.4%, 97.9%, 86.5%と非常に高い。少数民族の中では特にハニ族が多く, それにイ族, ミャオ族, タイ族等が続く。

農産物生産量の内訳を見ると, 糧食, 特に米の生産量はあまり伸びていない。元陽県や紅河県ではサトウキビの生産が大きく拡大して, 緑春県では茶, 金平県ではバナナなどの果樹の面積が増えており, これらは現地では収益性の高い作物として認識されていた。

⁹⁶ 森下(2007), 菊池(2012), を参照。

⁹⁷ 手塚(2006)を参照。

⁹⁸ 深尾(2004)を参照。

表 8 元陽県・紅河県・緑春県・金平県の気候と社会属性

年	面積 (km ²)	平均気温 °C	平均降水量 (mm)	農業戸籍者比率 (%)	少数民族比率 (%)
元陽県					
2000				95.06	88.3
2010	2189.88	16.4	1421	94.20	88.7
紅河県					
2000				95.30	94.6
2010	2011.20	20.2	906	94.79	95.4
緑春県					
2000				92.88	97.2
2010	3096.86	16.5	2042	91.71	97.9
金平県					
2000				93.41	85.5
2010	3685.69	17.7	2963	92.92	86.5

表 9 元陽県・紅河県・緑春県・金平県の GDP と産業別構成比

年	人口 (万人)	名目GDP (万元)	第一次産業 GDP構成比 (%)	第二次産業 GDP構成比 (%)	第三次産業 GDP構成比 (%)	一人当たり 名目GDP (元)
元陽県						
1990	33.5	16996				
2000	35.9	53089	50.72	13.68	35.59	1487
2010	39.7	200473	33.06	24.63	42.31	5150
紅河県						
1990	24	11046				
2000	26.8	42008	60.11	14.29	28.01	1577
2010	29.7	136627	41.96	18.12	39.92	4655
緑春県						
1990	18.0	8605				
2000	20.0	19562	46.15	8.93	44.92	979
2010	22.2	111015	31.45	35.45	33.10	4987
金平県						
1990	29.5	13011				
2000	31.1	38255	55.22	18.65	26.06	1231
2010	35.7	198864	25.03	47.16	27.81	5614

出所：雲南省統計局(2001), 雲南省統計局(2011)より筆者作成

表 10 元陽県・紅河県・緑春県・金平県の農産物生産量

年	農産物生産量(t)			農産物生産量(100kg)			
	糧食	米	トウモロコシ	油料	サトウキビ	茶	果樹
元陽県							
1990	84549	62910	15423	7999	24540	5377	78511
2000	111846	71987	24288	11673	885888	8131	103659
2010	139105	80271	34735	15504	1537456	7165	175989
紅河県							
1990	50701	37645	7094	3976	12840	1396	46444
2000	77037	50054	16150	5383	1435555	2519	161715
2010	91052	56596	20580	4414	1601705	12518	222804
緑春県							
1990	48715	33781	19588	2035	2379	5000	7394
2000	65693	38041	17431	5538	5909	10750	9390
2010	81008	36175	27103	16309	16544	41177	11579
金平県							
1990	48715	33781	9916	4347	24450	2090	105773
2000	103502	66840	29176	11360	41705	4090	221534
2010	119897	70702	27103	17785	38838	4049	2782960

出所：雲南省統計局(2001)，雲南省統計局(2011)より筆者作成

注：糧食とは、米、小麦、トウモロコシ、コウリヤン、アワ、その他の雑穀に、イモ類、豆類を加えたものである。脱穀後の重量(もみ殻込み)で量り、イモ類は生鮮重量を 1/5 にして換算される(雲南省統計局 2011)。

3) 雲南省南部の棚田地帯に関する既存研究

4つの県のうち、ハニ族棚田が広がる元陽県を中心とした事例は、少数民族特有の文化や生活、近年の観光事業に関連した研究が見られる。それらの研究では定量的な土地利用変化や経済分析を行った例は少ないが、地域の特徴を把握することができる。

まず、地域の土地利用に関する研究は、古川(1997)や百瀬(2003)、安達(2012)や Yu et al.(2012)に見られる。古川(1997)は対象地の山脈について、標高 800m から 1800m に大棚田地帯とその伝統文化が存在していることを指摘している。さらに百瀬(2003)は標高と自然植生を、3段階に分け、200m~800m を熱帯季節林、800m~1800m を照葉樹林、1800m~2500m を雲霧林と分類している。それぞれ、熱帯季節林帯では畑と水田でサトウキビや稲が、照葉樹林帯では広大な棚田で稲が、雲霧林帯では水源林や畑でのトウモロコシが多く存在していると

する。百瀬(2003)によれば、自然植生に依拠した森林は、1950年代終盤の大躍進、1960年代以降の開発で退行しながらも、水源林という資源という認識もあってかろうじて守られてきた。それでも1958年から1978年の開発期・文化大革命期には、無秩序な森林開発が見られたとしている⁹⁹。森林保護施策が整備され始めたのは1981年以後であるとまとめている。安達(2012)は、標高のみでなく、村やその土地の民族による棚田や水路の管理方法の違いがあることを示している。また、高標高では商品作物の生産が困難であることも指摘している。Yu et al.(2012)は、1986年の元陽県におけるリモートセンシング土地利用解析結果から、元陽県の中央部に広大なハニ族棚田が存在し、県全体では、高標高から森林—集落—棚田—川という土地被覆となっていることを明らかにした。

以上のように、対象地域ではエコシステムに準拠した土地利用が中心に行われつつも、大躍進やその後の開発で、乱開発や耕地拡大が起きていることが明らかにされた。

近年でのハニ族棚田の文化や環境に関わる研究には、黄他(2011a)や孫(2010)、孫(2012)が見られる。ハニ族棚田は2010年、FAO世界農業遺産に登録されている。その動きを巡って、黄他(2011a)は棚田文化がハニ族文化の根源であり、ハニ族が中国棚田文化の最初の発明者であり存続を続けているとしている。一方、孫(2010)は、伝統文化の残存は認めつつも、棚田という言葉とその明確な基準は日本にしかない上¹⁰⁰、元陽県における各民族は標高によって棲み分けられており、1,000mまでの低地ではタイ族やチワン族、1,000mから1,800mまではイ族とハニ族、1,800m以上はミャオ族やヤオ族が居住し、それぞれ棚田のような段々の伝統的耕作地を持っていることを述べている。また、孫(2010)ユネスコ世界遺産登録に向けた政府の動きを指摘し、「ハニ族特有の棚田」というブランド化は1950年代の中国政府の民族識別工作によって作り出されたものであると結論付けている。

棚田観光を主とした地域の観光業に関して、孫(2012)は、2000年以降元陽県でも数多く取り組まれており、当初は政府主導で行われていたため、その観光収入は一部の政府関係や高学歴の村民のみが享受していたが、近年では、観光業に関わる村民も増え、収入を増やす農民の数も増えているとしている。また、森下(2008)は、現地の農村の一部は観光地化が進み、農家個人経営の農家民宿が

⁹⁹ 袁(2010)は、1980年代以前でも、人民公社単位で収益性の高い作物に取り組むなどの動き中国全土であったとしている。市場化されていない中でも、経済合理的に土地利用選択を行っていた可能性もある。

¹⁰⁰ 本研究第2章で再論されるが、農林水産省農林水産用語集(2010)、(http://www.maff.go.jp/yougo_syu/index.html)では「傾斜地に等高線に沿って作られた水田」であり、「傾斜度が20分の1(水平距離を20メートル進んで1メートル高くなる傾斜)以上の水田という基準である。

増加していることを指摘している。菊池(2012)は、ある棚田観光農村において、現地の若者が都市部へ出稼ぎに行ってしまうので、観光資源としての棚田を維持するため、周辺の貧困農村から棚田耕作のために出稼ぎにきている実態を明らかにしている。観光収入が棚田を保全していることになる。一方、山本他(2010)は男子労働力が出稼ぎを行いつつ、家では零細な農地を保有し続け、女性が農業を営む生活が近年継続していると述べる。元陽県農村での聞き取り調査でも、特に若い男性はそのほとんどが出稼ぎを行い、残った者が農業を営む形態が主流であった。

近年では、手塚(2006)などによって、雲南省の開発による森林・水等の自然資源の汚染・減少の恐れのあることが指摘されている。対象地域の北に位置する省都の昆明では水の汚染が大きな問題となっており、生活用水の不足も見られる¹⁰¹。急速な経済発展や人口の増加により、環境資源において不可逆的な被害が発生している。これは、地域の環境資源に生活を大きく依存する少数民族にとって大きな問題である。

4) 分析対象地域での研究課題

以上で述べた通り、「ハニ族の棚田」では、出稼ぎや一部の農村の観光地化の進行もありながら、農地・水等の資源を共同管理する伝統的農業形態や少数民族固有の文化は存続しているとされる。しかし、実際の棚田の分布とその推移、それぞれの農家の作付け行動や土地利用選択の実態は必ずしも明らかにされていない。また、近年は観光開発の進行、経済の発展などにより、農地の潰廃や森林の減少が指摘されている。

本研究では、雲南省紅河南部を対象地域とすることで、以下の検討を行う。第一に、自然資源の保全と農業土地利用の持続性を考察する上で、その基盤となる土地利用データベースの構築と土地利用決定要因の分析を行う。対象地域は伝統的・半自給的な棚田という農業資源が保持されてきたと言われているが、対象地域での農地の利用実態は未だ把握されていない。人口の増大や経済発展の中で、どのような土地利用変化や農業生産活動の変化が起きたかを明らかにしする。

第二に、地理条件が複雑で標高差が激しく¹⁰²、道路条件も悪い地域に対してGISにより移動コストや交通に関わる変数を独自に作成することで、本来分析しにくい地域での経済分析を試みる。

¹⁰¹ Gui et al. (2003)を参照。

¹⁰² 海拔約 70m～3000m である

第三に、中国の制度変更について考察を行う。生産請負制の導入とそれに伴う農地分配、発展の遅れた地域や傾斜地への森林の補助金政策¹⁰³が、山間部での農業生産に大きな影響を与えている可能性がある。特に、人民公社の廃止による圃場の公平な分配の結果生じた中国での激しい圃場分散は深刻さを増しており¹⁰⁴、農地が零細かつ農業が生活の基盤となる地域での経済分析を行うことが生活の質の向上にも直結すると考えられる。

第2節 中国における土地利用をめぐる状況

1) 経済発展と関連政策

以下では、中国の農業・食料に関わる経済政策を中心に、制度変遷の概略をまとめる。

1949年に建国された中国は、いくつかの中国独特な政策変遷を経て現代に至っている。その変遷は、1978年の改革開放の前後で分けられることが多い。袁(2010)は、1949年から改革開放の1978年までの30年間の経済発展の段階を4つに分けている。具体的には、1949年から57年までの戦後経済復興と社会主義改造が完成した段階、1958年から1965年までの大躍進期と調整期、1966年から1975年までの政治的混乱期、1976年から1978年の躍進の挫折期の4つである。一方で、中兼(2012)は、1949年から1978年までを、経済開発戦略の変遷に準じて以下のように5つに分類する。すなわち、1949年から1952年の戦後経済発展準備期、1953年から1957年の毛沢東独自路線の経済政策期、1958年から1961年の大躍進とその失敗、1962年から1965年の調整期、1966年から1978年の文化大革命とその後の政治的混乱である。

細かな分類や着眼に差はあるものの、1949年から1978年までが中国経済の戦後の復興期であり、その間に社会主義改造から大躍進政策、経済調整を経て、文化大革命と政治的混乱へと推移したということは、Kelliher(1986)でも一致した見方が示されている。

中国では、1950年代前半に私営企業の国営化が行われ、1950年代後半には国家による積極的な重工業部門への投資が行われた¹⁰⁵。1958年から1960年までが大躍進運動の時期であり、農業の灌漑・開墾事業の労働力の大量動員、農村では人民公社が結成されたとされている。分析対象である雲南省でも、躍進

¹⁰³ 例えば退耕還林政策は傾斜地を対象とし雲南省等の西部地域で重点的に行われた(池上2007)。

¹⁰⁴ Tan et al. (2006)を参照。

¹⁰⁵ 丸川(2002)を参照。

政策の一方で、森林の伐採等により環境破壊や林地面積の大幅な減少につながっている¹⁰⁶。さらに、人民公社組織の急速な大規模化や画一的に展開した農業技術導入、小規模企業生産方式等の失敗により、1959年には農業生産は著しく低下した¹⁰⁷。1960年から1961年にかけては、自然災害も政策の失敗に拍車をかけて、数千万人が餓死したとも言われている¹⁰⁸。1962年から1965年は特に農業に関し、人民公社の組織の細分化制度、自留地の容認、作物栽培体系の改善や農業の近代化促進、また、採算性の悪い企業の整理によって経済の回復がなされた¹⁰⁹。1966年から1969年は、毛沢東が文化大革命を行い、都市部を中心にした大規模な武力闘争が行われた¹¹⁰。

1979年以降は、主に改革開放と市場経済への移行期と認識されている。袁(2010)は、1979年から1984年を市場経済の萌芽期、1985年から1991年を市場メカニズムの導入期、1992年から2000年を市場経済確立期、2001年以降を市場拡大期とする。中兼(2012)もほぼ同じく、1979年から1991年で戸別請負制の導入や農産物の価格自由化による改革開放の開始、1992年から2001年で改革開放と市場化の一層の進展、2002年には環境や社会との調和を図りながらの経済成長路線が取られた時期だとしている。

1979年から1984年で集団農業体制は解体され、1985年から1989年で都市部でも本格的に国有企業の改革や生産請負制の導入が行われた。袁(2010)は、1949年から1978年計画経済期でも、生産責任制は自発的には行われていたが、社会主義理念に反すると見なされ取り締まられていた側面があると指摘する。1979年以降は次第に生産要素の使用権が行政からそれぞれの合理的な経済主体へと配分され、農業の高成長がもたらされたとされている¹¹¹。1992年から1996年には社会主義市場経済が導入され、2001年頃以降、マクロ経済改革が積極的に推進されている¹¹²。

2) 食糧流通政策

農産物価格は農業生産における最も基本的な要素の一つであり、価格に影響を与える政府の農産物買い付けや農産物流通の自由化は、農家の意思決定に重

¹⁰⁶ 雲南省統計局(2001)を参照。

¹⁰⁷ 袁(2010)を参照。

¹⁰⁸ Becker(1998)を参照。

¹⁰⁹ 袁(2010)を参照。

¹¹⁰ 中兼(2012)を参照。

¹¹¹ Lin(1992)を参照。

¹¹² 中兼(2012)を参照。

大な影響を与える政策である。ここでは食糧流通政策¹¹³を中心に、中国の農産物流通政策の変遷をたどる。中国の食糧流通が大きく変化したのは1978年以降である。寶劔(2003)は、その食糧流通政策の変遷を6つの段階に分けている。まず、1978年から1984年を農村制度・農業生産体制改革期としている。池上(1989)は、この時代の食糧流通において、食糧の政府計画買付け価格を1979年から20%引き上げることや、超過買付け価格は計画価格のさらに50%の割増とすること、農村自由市場流通を奨励することを目立った政策として挙げている。池上(1989)は併せて、この段階では依然として食糧について計画買付けを主としてきたと指摘している。

池上(1994)、菅沼(1995)、寶劔(2003)は、1985年から1990年を食糧契約買付け制度が導入された時期として捉えている。政府は食糧流通の一部を直接管理し、残りは市場流通にゆだねていた¹¹⁴。さらに、1985年には青果物や畜産物の流通が自由化された¹¹⁵。1991年から1993年は1990年における食糧増産による販売難に対処するため、保護価格による無制限買付けが実施され、その影響による財政負担の増大を軽減するために、都市住民に対する食糧配給価格の引き上げが行われた¹¹⁶。制度上は、1992年頃に食糧の自由化が普及し、市場取引される穀物が増大している¹¹⁷。1990年代後半は、食糧の余剰が発生した結果、多量の食糧の備蓄と大幅な赤字が発生したとされている。

1999年以降は、食糧流通のさらなる自由化が進められた。市場価格が低下した場合、契約買付け価格を保護価格まで引き下げることとなり、契約買付け価格での買付けの負担が軽減された¹¹⁸。国有食料企業の赤字減少や食糧販売量の増加など、食糧流通政策の改善は一定の成果もあげているが、食糧消費地において食糧の保護価格による買付けが政策的に堅持されるなど、必ずしもスムーズに進展で来ているわけではないことが指摘されている¹¹⁹。

1979年以降、農業生産システムと農産物流通システムにおいても改革が進められて、政府買い上げ対象範囲の段階的縮小、食糧備蓄制度や食料卸売市場の整備、都市部での食糧販売価格引き上げや食糧配給制度の廃止が行われた。このように食糧制度は市場メカニズムにゆだねる方向で進展してきたのだが、た

¹¹³ 先行研究に基づき米や麦等の主食用穀物を指す「食糧」流通とした。中国では、関連する用語である「糧食」は、米、小麦、トウモロコシ、コウリヤン、アワ、その他の雑穀、イモ類、豆類を加えたものを指す。統計における「糧食」の生産量は、脱穀後の重量で量り、イモ類は生鮮重量を1/5にして換算された値が用いられる。

¹¹⁴ 寶劔(2003)を参照。

¹¹⁵ 菅沼(1995)を参照。

¹¹⁶ 池上(1994)を参照。

¹¹⁷ 菅沼(1995)を参照。

¹¹⁸ 池上(2012)を参照。

¹¹⁹ 寶劔(2003)を参照。

だし 1996 年の大豊作時には保護価格による政府の無制限買い付けが行われることもあった。

池上(2009)は、中国での農業調整過程において、食糧需要に比べて供給が相対的に急速に増大していったこと、農業の産業としての比較優位性が低下していったこと、そして両者が相互に関係していることを指摘している。1997 年以降に農家所得の伸びが鈍化するようになると、政府からの支援不足が顕著になり、農民暴動や陳情が続発した。2004 年からは、食糧直接補助金、優良品種補助金、農業機械購入補助金、農業生産資材総合直接補助金という 4 つの直接的な補助金が支出され、その額は増大している。さらに 2006 年には農業税が廃止されて、農民の負担は軽減された¹²⁰。

3) 労働力供給

中国の経済発展における農家の労働力移動に関連して、ルイスの二重構造論や無制限労働供給モデルが国内の論争で頻繁に取り上げられてきた。ルイスの無制限労働供給モデルでは、労働の限界生産力が賃金率より低いという過剰労働力が存在する限り、生存賃金率で無限に弾力的に伝統部門から近代部門に労働力は供給される (Lewis, 1954)。近代部門は伝統部門から移動してきた労働力分を増やしつつ生産を行い、得られた利潤を投資して生産を拡大し、さらに労働需要を拡大させることになる。過剰労働力のプールが枯渇する点を転換点と呼び、この点を過ぎると、労働力が伝統部門、近代部門の両部門で不足し、賃金は上昇し始め二重構造は無くなる。中国の転換点論争はいまだ決着がついておらず、「既に迎えた」、もしくは「迎えつつある」という議論と、「未だ転換点は迎えていない」とする議論がともに存在している。

大塚(2006)は、都市で賃金が増していることを指摘し、中国の農村では労働力が枯渇し始め、既に転換点を迎えたとしている。同じく中国社会科学院も転換点を既に終えたと主張し、労働の供給制約を受ける今後の中国经济においては、産業構造の高度化政策や雇用政策の調整が必要だとしている¹²¹。

これに対して、Golley et al. (2011)は、中国は未だ転換点に到達していないとする。使用データは 2004 年までであるものの、都市と農民工の賃金格差が縮小していない事、非熟練労働力の賃金があまり上がっていない事を理由としている。巖(2008)は、経済の様々な側面を実証的に分析した上で、日本の転換点の到達時期を特定した 南(1971)の研究と比較してみると、中国经济の転換点論争は相当粗雑であり、労働供給の減少や賃金上昇は、大学進学率の急上昇や三農政

¹²⁰ 中兼(2012)を参照。

¹²¹ 明石(2011)、中兼(2012)等がまとめている。

策の結果による効果であると指摘して、最低賃金の引き上げも転換点と関係しないとしている。さらに、南他(2013)は、都市労働市場の失業率を推計し、1985年に2.8%であったのが2000年に10.3%となり、さらに2003から2006年にかけては12%という水準に達したことから、転換点を迎えてはいないと結論付けている。中兼(2012)では、「転換点」論争に「すれちがい」があるとして、中国社会科学院等が指摘する転換点とは、都市部における農民工たちの賃金上昇が始まることを指している、それはラニス=フェイモデルの第一の転換点「食料不足点」であり、それはルイスモデルの転換点ではないとしている。

4) 環境政策

中国では、1960年代以降に環境汚染が悪化したが、1970年代に環境政策を立ち上げて、1979年には環境保護法が施行された¹²²。その10年後には環境保護法が制定されて、それ以降は水污染防治法や大気污染防治法、海洋環境保護法等の本格的な環境保護制度が始まることとなった¹²³。近年も積極的な環境政策と環境目標が見られるが、主な目標は未達成に終わり、一部の工業汚染物質の補移出量は増加傾向にあるという指摘がある¹²⁴。環境汚染の尺度には、一人当たりの汚染量やGDPに対する汚染量などが指標として用いられるが、地域や時期による差異、汚染物質の種類や種類ごとの環境許容量なども異なり、実証的にその結論を得ることは必ずしも容易ではない。

中国を分析対象として環境クズネッツ曲線を議論した着目した実証研究は複数見られる。De Groot et al. (2004)は汚染水や排気ガス、固形の廃棄物の3種の汚染物質について、1982年から1997年の30省市におけるパネルデータを用い、廃棄物質の総量や一人当たり排出量、GDPに対する排出量を被説明変数とし、一人当たりの所得およびそれを2乗した二次、3乗した三次の変数を用いて回帰分析を行っている。その結果、汚染水は二次の項のみが負となるクズネッツ曲線を描いたが、排気ガスは所得に関して単調に増加する結果となっている。Song et al. (2008)は、パネルデータを使用し、同じように一人当たりの排出量を被説明変数とし、3種の汚染物質のいずれもが二次の項のみ負となるクズネッツ曲線を示した。しかし、汚染水に関しては、逆N字の関係が見られている。その他、Brajer et al. (2011)は同じように汚染指数を作成し、所得水準との関係性を分析しているが、概ね環境クズネッツ曲線の仮説の通りの結果を得ている。

¹²² 大塚(2008a)を参照。

¹²³ 中兼(2012)を参照。

¹²⁴ 大塚(2008a)を参照。

5) 中国の土地利用/土地被覆に関する既存研究

表 11 は、リモートセンシングデータを使用した、もしくはその言及がある、中国での土地利用/土地被覆の研究の中で、社会経済データと併せて分析している事例である。

中国での土地利用の研究は、経済分析を行っている研究は都市部拡大に着目した研究が多く、いずれも都市化が進む中国東部における分析である。一方で土地利用/土地被覆の変化を観察した場合は、中国全土を対象とした研究が多い。

中国全土を対象とした Liu et al. (2009)や Li et al. (2013)の研究は、それぞれ 100km, 10km 単位の大きな土地利用推計データを用いて、中国全土の地域ごとの土地利用を概観している¹²⁵。特に、Li et al. (2013)は 10km セルに統合された土地利用データを用いて、GMM を使用した空間多項ロジットモデルにより、農地、林地、草地、水域、市街地、荒地の 6 つの土地利用間を変化させる要因の分析をしている。しかし、そこでの土地利用選択の推計は、中国全土をカバーするものの、政策的な変数が入れていないうえに、10km に集計された土地データと県レベルの社会経済統計を用いており、個人の土地利用選択モデルとは懸け離れたものである。

森林の増減について分析した研究は少ないが、Deng et al. (2010)や Deng et al. (2011)などの成果がある。中国東部の森林減少について着目し、それぞれ人口や GDP といった社会経済変数を変化した際のシミュレーションを行い、さらに道路整備の効果について分析している。Deng et al. (2011)によれば、江西省において道路は森林減少に影響を与えなかったことが示されている。また Ostwald(2006)は、気候変動が植生や土地利用に与える影響評価を行っている。

Deng et al.(2008)や Lichtenberg et al.(2009)は他の土地利用から都市への土地の転換について、時系列データを用いて計量経済学的に推計している。都市での所得増大や経済発展が都市面積の拡大をもたらし、農地面積の減少にも繋がっていると指摘している。

中国の土地利用/土地被覆研究において、明示的な経済モデルを有した研究は Seto et al. (2003), Deng et al.(2008), Lichtenberg et al.(2009), Li et al. (2013)と比較的限られており、分析対象地域は中国全土か、東部の長江流域や上海周辺に集中している。開発の遅れる西部を対象に、データをアグリゲートせずに土地利用を分析した例は見られない。中国の経済発展と農地・水資源の関係を分析するためには、発展が進んだ長江河口や沿岸の都市部だけではなく、山間

¹²⁵ これらの研究では、リモートセンシングの結果を土地利用/土地被覆(Land use/land cover)ではなく土地利用(Land use)と読み替えて使用している。

部や経済成長が遅れた地域の経済発展や制度変化に伴う土地利用/土地被覆の変化を明らかにする必要があると考えられる。本研究では、豊かな自然環境や伝統的・半自給的な農業形態がまさに変化しつつある地域を対象に経済分析を行い、今後の農地・水資源、環境資源について考察する。

表 11 中国での土地利用/土地被覆の経済分析例

分析主題	期間	データ	対象地域	計量経済推計	土地利用/土地被覆の変化や要因に関する考察	
lin(2003)	耕地面積変化	1949-1996	中国政府	中国全土		1996年の土地調査では、過去に国家統計局が報告したものより約40%多く1.3億haの総耕地面積である。1949年と1996年を比較すると、未利用地で建設用地が拡大している。1990年代以降は、農業再編や急速な都市化により、大規模な農地の損失も見られる。
Liu et al. (2005)	耕地面積変化	1990-2000	Landsat TM/ETM	中国全土		2000年中国の耕地面積は国土環境部の政府統計は約1.2億haであるが、推計の結果、水田3560万ha、乾燥畑1.055億haの1.411億haであった。草原や森林伐採による耕地も見られるが、東南アジア地域では農地面積が減少。
Deng et al. (2010)	森林減少	1988-2005	Landsat TM/ETM	中国北東部	OLS	1980年代後半～1990年代の間に、中国では都市の面積が大幅に増大。経済成長が都市近郊での森林減少に重大な影響を与える。
Deng et al. (2011)	森林減少	1995-2000	Landsat TM/ETM	江西省	固定効果推計	江西省において、道路は森林破壊の速度に影響を与えていない。耕作地の減少は不均一であり、特に都市の土地開発が喪失に関係する。土地開発は不安定であり、1989年～1994年、1994年～1997年で遷移が異なる。
Weng (2002)	都市拡大	1989-1997	Landsat TM/ETM	広東省・珠江デルタ	マルコフ連鎖	付け値地代論に基づき都市拡大要因を分析。産業発展でなく、地域の土地利用者に対する経済的政策が、都市部の土地転換に大きな役割を果たす。
Seto et al. (2003)	都市拡大	1988-1996	Landsat TM/ETM	広東省・珠江デルタ	変量効果推計	森林被覆は減少。工業化、都市化、人口増加、経済改革政策が、土地利用の変化要因である。
Long et al. (2007)	都市拡大	1987-2000	Landsat TM/ETM	上海市・長江デルタ		モノセントリックモデルを用いた都市拡大の検証。所得の増大が都市拡大の要因である。
Deng et al. (2008)	都市拡大	1988-2000	Landsat TM/ETM	中国全土	固定効果推計	都市部と農村部での土地配分の動学的土地配分に関するモデルの検討。沿岸地域の都市部では都市の面積が拡大し農地は縮小。
Lichtenberg et al. (2009)	都市拡大	1996-2004	中国政府	沿海の10省	固定効果推計	

表 11(続き) 中国での土地利用/土地被覆の経済分析例

分析主題	期間	データ	対象地域	計量経済推計	土地利用/土地被覆の変化や要因に関する考察
土地利用/土地被覆変化	1985-1995	中国政府	中国全土		人口増加, 都市化, 工業化, 生活変化, 政策の5つの土地利用変化との関係をまとめている.
土地利用/土地被覆変化	1992-1993	NOAA/AVHRR	中国全土		中国での総耕地面積, 水稲面積, および灌漑農地面積の推定値は, 郡以上のスケールにおいて, 政府の統計よりも50~100%大きい.
土地利用/土地被覆変化	1965-1992	航空写真・Landsat TM/ETM	雲南省・西双版纳県		耕地化政策は森林の減少と相関がある. 生産請負制以後, 耕作地の全体の面積は減少し, 資本制約的から土地制約的に変化.
土地利用/土地被覆変化	1990-2000	Landsat TM/ETM	中国北部		降水量や気温といった生物物理条件が草地の拡大に有意な相関を示す.
土地利用/土地被覆変化	1995-2000	Landsat TM/ETM	中国全土		中国南部でも都市の拡大が進んでおり, 主に森林や草地が転換されている.
土地利用/土地被覆変化	1965-1992	航空写真・Landsat TM/ETM	カンボジア, ラオス, ミャンマー, タイ, ベトナム, 雲南省		土地の国有化は伝統的な土地利用を困難にさせている. 市場化によって自給用作物の商品作物への転換が見られた.
土地利用/土地被覆変化	1965-1992	航空写真・Landsat TM/ETM	雲南省・西双版纳県		経済発展とともに, ゴムの植林が急速に拡大している.
土地利用/土地被覆変化	2000-2002	Terra MODIS/ASTER	陝西省		対象地域での植生増減に対し, 気温の要因が大きい, 気候変動の影響はない. 農家の土地利用は政策と経済的な要素に影響を受けて
土地利用/土地被覆変化	2000-2005	Landsat TM/ETM	中国全土		中国南部の地域では水田の土地面積が減少し都市面積や住宅地が拡大した.
土地利用/土地被覆変化	1988-2005	Landsat TM/ETM	中国全土	空間ロジック推計	地代差による土地利用転換のモデルを空間的な影響を加味し推計. 所得が高い都市で耕作地は減少しやすいが, 道路密度が高い地域では耕作地が増加しやすい. 道路密度は森林伐採を増加させる.

註 1) : Landsat TM/ETM, NOAA/AVHRR, Terra MODIS/ASTER は衛星とセンサの種類を指す. これらの研究はリモートセンシング解析を行っている.
 2) : 計量経済推計の列は行われている推計モデルを示し, 空欄は計量経済推計は行っていない研究である.

出所: 筆者作成

第3節 リモートセンシングによる土地利用/土地被覆判別

本節では、リモートセンシング解析を行い、伝統的な農業形態が保持されてきたが、近年変わりつつあることが指摘される¹²⁶雲南省南部の地域を対象に、長期的な土地利用/土地被覆の動向を明らかにする。農地・水資源の拡大や潰廃を明らかにするため、想定される土地利用において特に水田・畑地・森林の変化に着目する。

森林等の自然状態での利用、棚田等の伝統的農業形態での利用、果樹園や灌漑畑といった近代的農業形態での利用、それぞれの面積とその分布については、社会経済データと結合しながら検証し、変化の要因を考察する。その上で次の第3章では、Chomitz et al. (1996)をふまえた理論モデルに基づいた土地利用選択行動の推計を行い土地利用決定要因を分析する。

なお、本研究での分析手法や作成したアルゴリズムは、地理学状の分析手法や、経済学における地理データ利用方法の向上に貢献することが期待される。

1) 対象地域の衛星画像

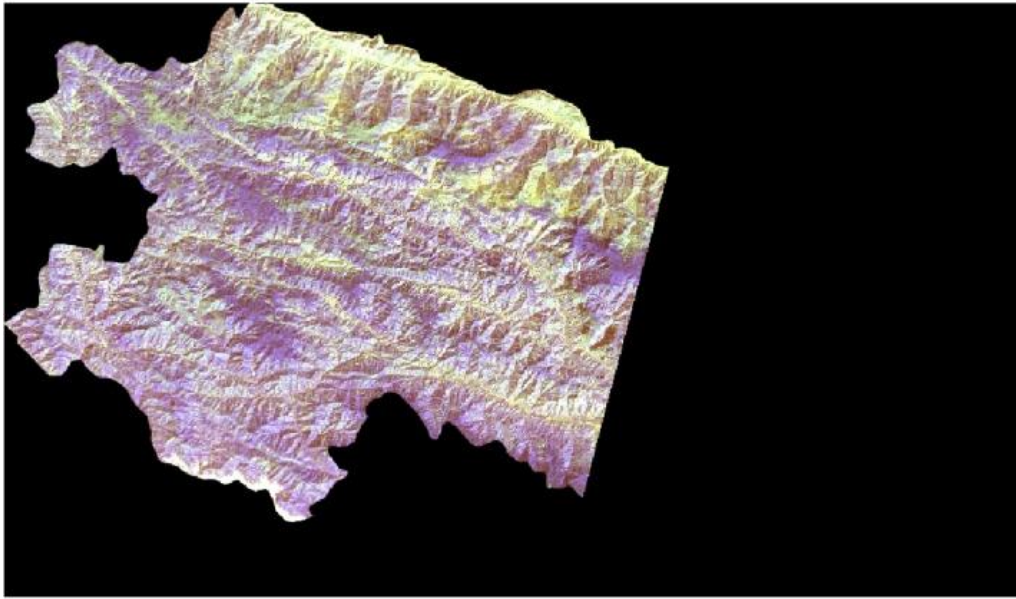
以下の画像は米国地質調査所¹²⁷から取得し、リモートセンシング解析に使用した Landsat1~7¹²⁸の衛星画像¹²⁹の一部である。

¹²⁶ 手塚(2006)を参照

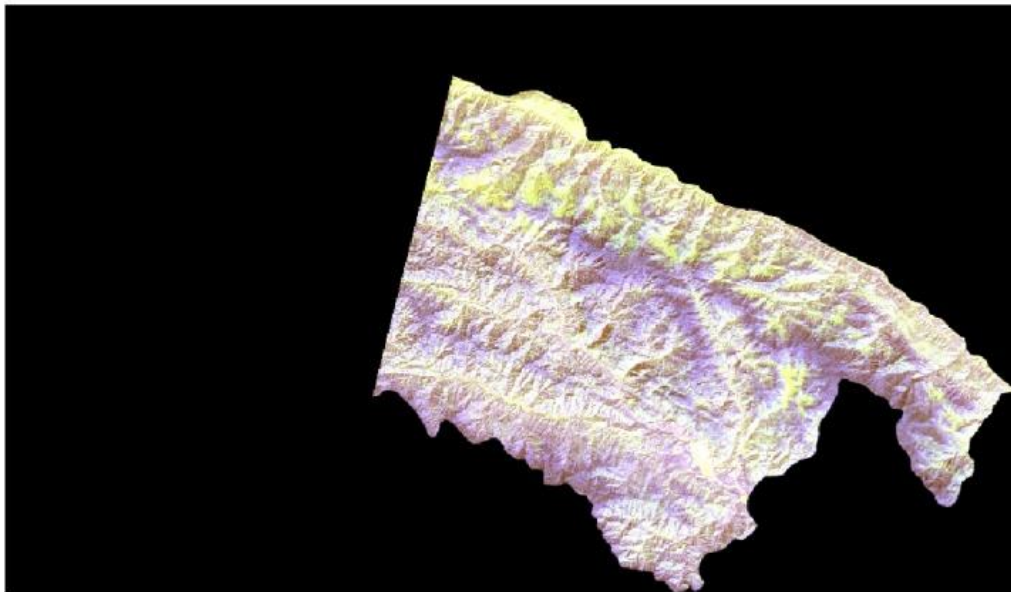
¹²⁷ United States Geological Survey(USGS), (<http://glovis.usgs.gov/>)

¹²⁸ Landsat1~7 は米国航空宇宙局が打ち上げた人工衛星である。最も初期の Landsat1 は 1972 年に打ち上げられ、2012 年時では Landsat5,7 が運行している。

¹²⁹ landsat1~7 の衛星画像は米国地質調査所(<http://glovis.usgs.gov/>)から取得できる。



☒ 7 Landsat1 MSS(1974/1/20) Path139-Row44



☒ 8 Landsat1 MSS(1974/11/24) Path138-Row44



图 9 Landsat4 TM(1992/9/01) Path129-Row44



图 10 Landsat7 ETM+(2000/11/27) Path129-Row44

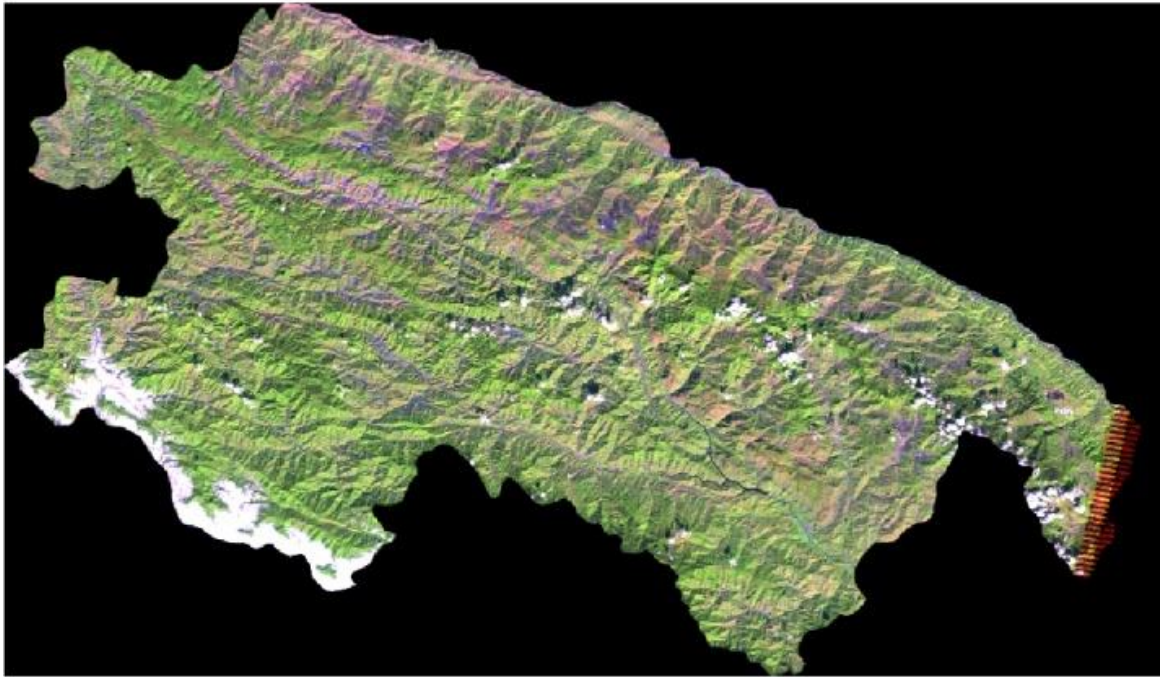


図 11 landsat5 TM(2006/11/2) Path129-Row44

出所：図 7~図 11 米国地質調査所(<http://glovis.usgs.gov/>)データ

表 12 Landsat 衛星の各画像の構成

	Landsat1-3 (micro m)	解像度 (m)	Landsat4,5	解像度	Landsat7	解像度
Band1			0.45-0.52	30	0.45-0.52	30
Band2			0.52-0.60	30	0.52-0.60	30
Band3			0.63-0.69	30	0.63-0.69	30
Band4	0.5-0.6	80	0.76-0.90	30	0.76-0.90	30
Band5	0.6-0.7	80	1.55-1.75	30	1.55-1.75	30
Band6	0.7-0.8	80	10.40-12.50	120	10.40-12.50	60
Band7	0.8-1.1	80	2.08-2.35	30	2.08-2.35	30
Band8					0.52-0.90	15(PAN)

- 註：1) Landsat1-3 は一辺の解像度 80m であるが、グリッドは米国地質調査所の開示段階で Landsat4-5 の座標に合わせて 1 セル 60m×60m に加工・補正されている。
- 2) PAN とはパנקロマティックセンサを指し、より詳細な形状を把握できるが波長帯が広く土地利用の判別には利用できない。

出所：米国地質調査所(<http://glovis.usgs.gov/>)データをもとに筆者作成

Landsat1~7 の特徴を表 12 にまとめた。これらの画像を作成するにあたり、波長域ごとの複数の画像(Landsat1 なら 4 枚, landsat4,5,7 なら 6 枚)のうち 3 枚に、人間が認識できる波長に近い波長域で赤・青・緑の三原色をあてはめ、色を重ねた。

1974 年の画像は Landsat1 によるものであり、その後打ち上げられた Landsat4~7 とは軌道が異なるため、一枚の画像だけでは本研究の対象地域 4 県をカバーできていない。そこで、できるだけ近い日付のデータ画像を別々に分類のために処理し、その後に座標を補正して結合させることで一枚の土地利用分類の合成画像を作成した。分類作業前でなく分類作業後に結合したのは、それぞれの画像は撮影した日付により衛星の仰角や太陽の高度等が異なり、同一の画像として扱うことができないためである。画像の最小単位(セル)は 60m×60m である。

1992 年の画像は Landsat5 の衛星画像である。Landsat4,5 は、搭載されているセンサは同一のものであり、1 セルは 30m×30m である。Landsat1 と比較し、より広域の波長をとらえることができる。

2000 年のデータは Landsat7 のものである。Landsat7 は 1999 年 4 月に打ち

上げられており、セルは 30m×30m である。Landsat5 との大きな差は、15m×15m セルの PAN 画像も取得できる点である。

2006 年のデータは landsat5 のものである。Landsat7 が 2003 年 5 月に故障し、データに大きな欠損が生じるようになってしまったため、2003 年以降のデータは landsat5 による。

以上の画像は、地上基準点(GCP)により幾何補正を行った¹³⁰。土地利用分類図作成のために取得した画像は、1974 年～1976 年で 6 枚、1992 年で 1 枚、2000～2002 年で 10 枚、2005～2006 で 3 枚、計 20 枚である¹³¹。取得した画像全てで土地利用分類を行った。

ここで、1992 年、2000 年、2006 年の画像は、エラー部分、及び、東の端が僅かに欠けるケースが存在する。欠けている面積が最も大きい 1992 年のデータは 1974 年のデータと比較し 24,734ha、全体で 2.2%面積が少ない。また、2000 年データは 1974 年データより 10,551ha、0.9%面積が少ない。

1992 年のデータは画像データが一時点しかなく、画像の欠損部分の比較的大きいため、後の分析において、他の年次とのデータの細かな比較はせず、特に郷鎮レベルでは分析対象としなかった。これは、計量経済分析においても同様の扱いとした。また、土地利用のランダム抽出による分析を行ったが、その際には、欠損している部分のデータは分析の対象外とした。

2) リモートセンシングによる土地利用/土地被覆判別技術

これらのデータに、財団法人資源・環境観測解析センターから入手した 30m×30m の標高データ ASTER GDEM¹³²と組み合わせ、Leica-geosystems 社¹³³衛星画像解析ソフト Erdas Imagine によって土地利用/土地被覆分類データを作成した¹³⁴。

¹³⁰ GCP による補正でその座標誤差は 15m 以内となっている。GCP については秋山他(2007)等を参照。

¹³¹ 画像取得の基準は、無料で手に入る衛星画像のうち、雲の被覆率が 30%以下のものとした。

¹³² ASTER とは人工衛星 Terra に搭載された地球観測センサーであり、地表面の被覆や温度、3次元地形データを収集している。ASTER GDEM は 一般財団法人資源・環境観測解析センター(<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>)、 米国航空宇宙局 (<https://wist.echo.nasa.gov/~wist/api/imswelcome/>)から無償で入手できる。

¹³³ 現 Hexagon Geospatial 社。ソフトウェアは Hexagon Geospatial 社ホームページを参照。(<http://www.hexagongeospatial.com/>)

¹³⁴ (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所・小川茂男氏の指導によるところが大きい。記して感謝したい。

衛星画像は、同じ年次でも季節によって土地表面の見え方は異なる¹³⁵。例えば、夏期は多くの土地で植物による被覆が見られるが、収穫期は畑の植生が大きくばらつく場合がある。

本研究では、まず手に入る画像全てで土地利用/土地被覆分類図を作成した。その中で、分析の中心となる水田の面積が最も正確に把握でき、複数の年次で比較可能な画像となる季節を検討した。その結果、土地利用/土地被覆分類図を作成した 20 件のうち、年度が一定以上離れること、比較の日付が近いこと、水田がはっきりと現れていること¹³⁶、という 3 つの条件を満たした 1974 年 11 月 24 日、2000 年 11 月 27 日、2006 年 11 月 2 日の画像に、先に指摘した 1992 年の画像を加えた合計 4 枚の画像を分析の対象に選んだ。

図 7~11 のような衛星画像を、それぞれのセル（画像の最小単位）について、反射される波長ごとの強さでクラスター分類を行う「教師なし分類」を行った。

本研究では、図 12 の手順で土地利用/土地被覆解析作業を行っている。図 12 において、六角形で示されたものが元々の画像データ、平行四辺形で示されたものが解析過程の画像データ、長方形で示されたものが解析後の土地利用/土地被覆分類図である。

初めに元となる画像（図 12 中 landsatα）を「教師なし分類」で分類した。ここで、「教師なし分類」とは、事前に分類項目の分からないデータを使用して行う分類を指す。これに対し、あらかじめ土地利用/土地被覆が分かっているトレーニングデータ（教師データ）を用いる分類は教師つき分類と呼ばれる。本研究では、教師なし分類でのクラスター分類手法は ISO-DATA 法を用いている。その際、閾値は 0.97、項目数は 40 とした。

分類した 40 項目についてそれぞれ元の衛星画像や Google Earth 画像と比較し、土地利用/土地被覆を決めた。最初の段階でできた画像が図 13 である。解析の途中段階であるため、水色や青で示す分類が多くなっている。この段階では、水田・水域・影・その他を十分に区別していない。水が全波長で光を吸収するので、水田や水域と影が似た反射光となり判別しにくいためである。土地利用/土地被覆分類精度を向上させるために、水田・水域等を抽出し(Water, Paddy and Shadow Area の画像データ、図 14)、再び教師なし分類で 30 項目に分類した。これによって、画像判別上似通ったグループ(波長の近いグループ)間でのより細かく正確な分類を行った。このように、後の経済分析のために正確に推計したい土地利用/土地被覆(ここでは水田)を細かく分類できる点は、本研究のフ

¹³⁵リモートセンシングによる土地利用分類図は、その土地の地目を示すものではなく、「画像が撮られた時点でのその土地の利用が何であったか」を示すものである。

¹³⁶対象地域では農閑期に水を溜めることで水田を保存するため 11 月~2 月頃に水田を判別しやすい。

レームワークの強みの一つである。

二度の分類を行った上で、図 12 の ASTER GDEM と呼ばれる標高データを利用した水田と草地の判別アルゴリズムを適用し、土地利用/土地被覆分類の難しい丘陵地に対して、さらに誤識別を減少させる取り組みを行った¹³⁷。以上の工程でできた土地利用/土地被覆 (Land Use Map α) が図 15 である。

さらに本研究では、Land Use Map α まで分類を進めた 1974 年 11 月 24 日、2000 年 11 月 27 日、2006 年 11 月 2 日の土地利用/土地被覆に、それぞれ同じ取得年次の土地利用/土地被覆 (Land Use Map β) を合わせクロスした土地利用/土地被覆の分類をしている。具体的には、1974 年 11 月 24 日と 1974 年 3 月 12 日、2000 年 11 月 27 日と 2000 年 5 月 19 日、2006 年 11 月 2 日と 2006 年 6 月 14 日の土地利用/土地被覆画像を重ね合わせた。重ね合わせたうえで、11 月時の土地利用/土地被覆を基準にし、現地の土地被覆も参考にしつつ、最終的な土地利用被覆 (Land Use Map) とした。二つの画像を重ね合わせて分類することで、11 月のみでの画像判断と比べ、通年での土地利用を考慮している。また、影、雲等の部分をそれぞれの異なる季節の画像で補っている¹³⁸。

¹³⁷ 詳しくは補論 1 を参照。

¹³⁸ 1992 年の画像では、9 月 1 日以外の時期の画像データが取得できず、複数の画像をクロスした土地利用/土地被覆分類を行っていない。

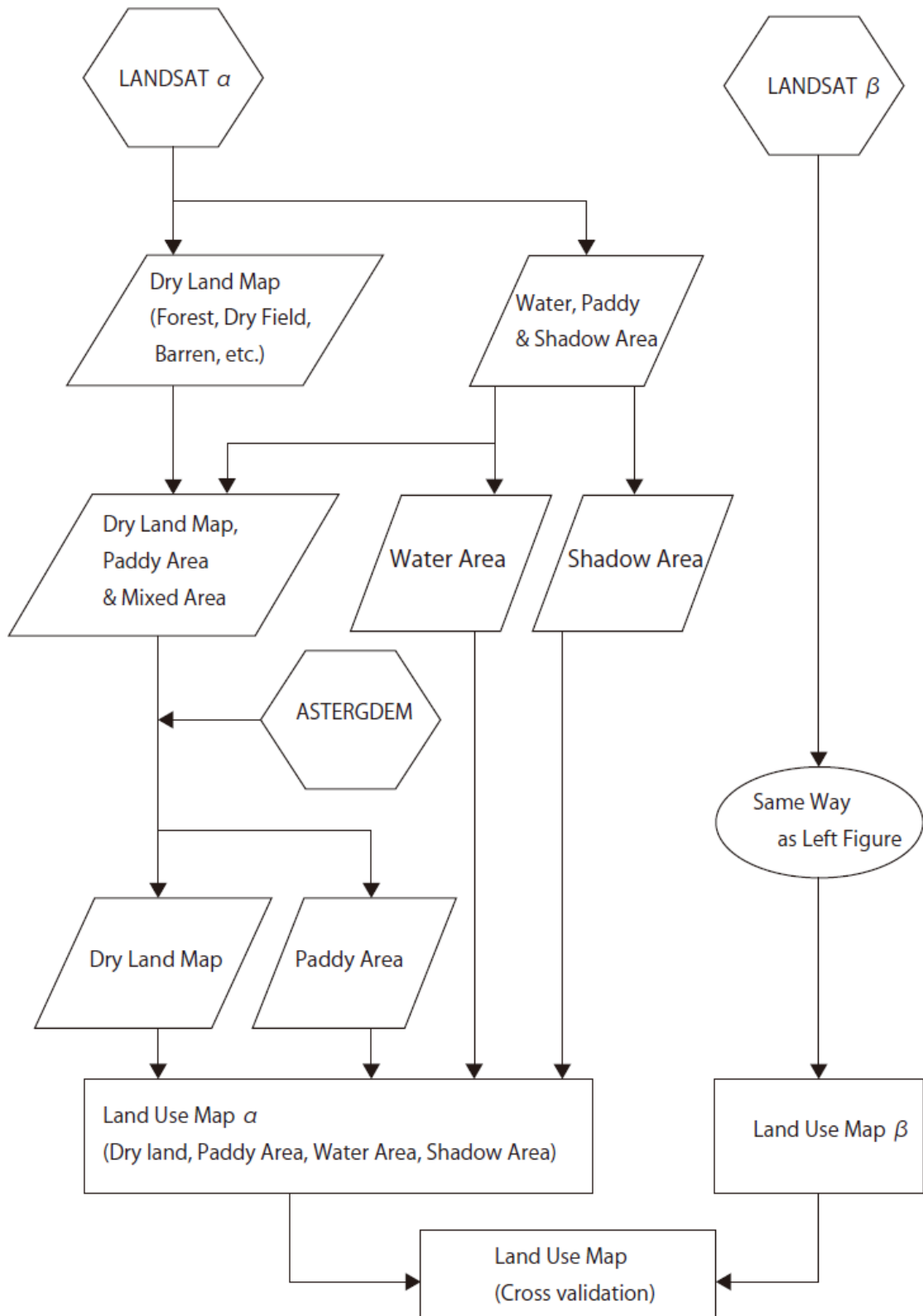


図 12 本研究における土地利用/土地被覆分類フロー

出所：筆者作成

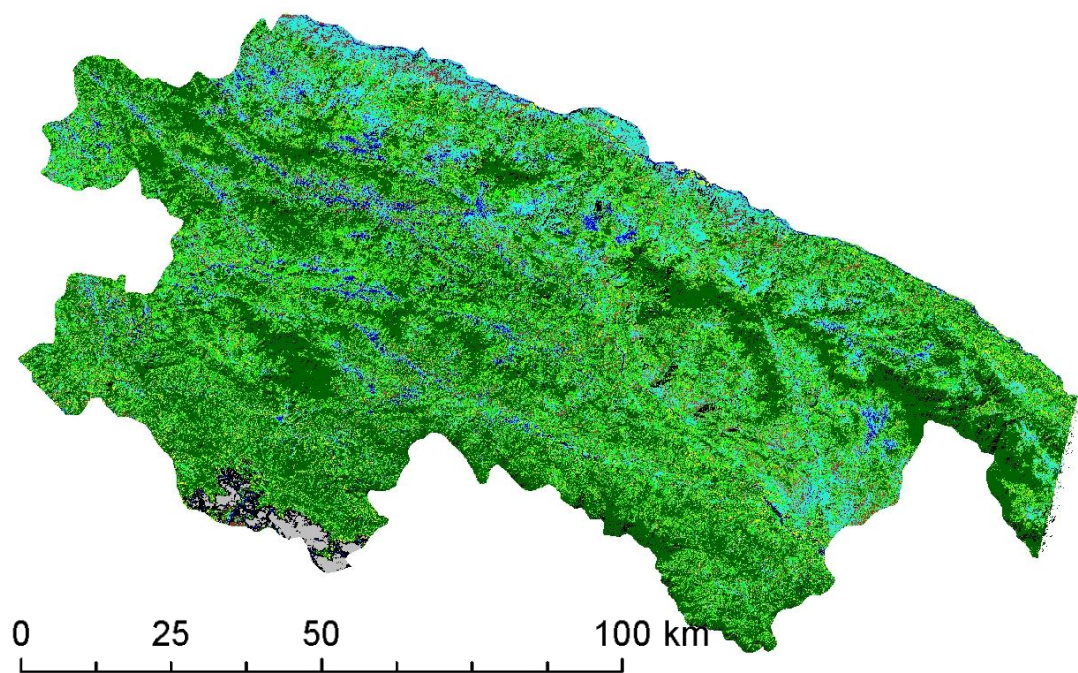


図 13 土地利用/土地被覆分類図第一段階 2000年11月27日

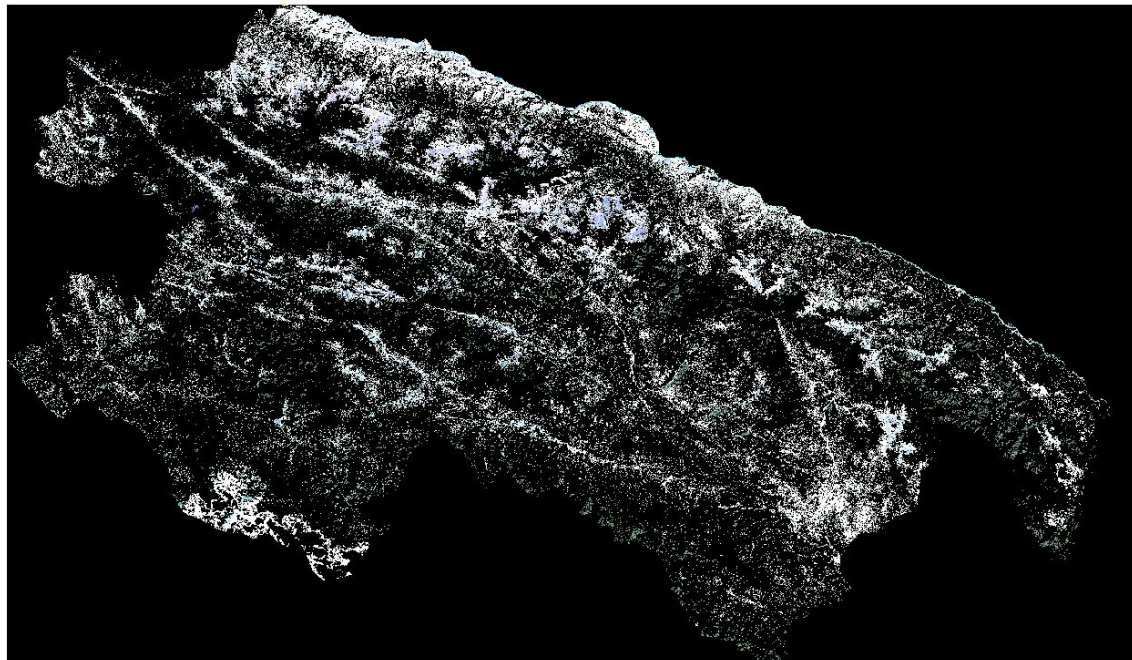


図 14 土地利用/土地被覆分類図 水田・水域・影の抽出

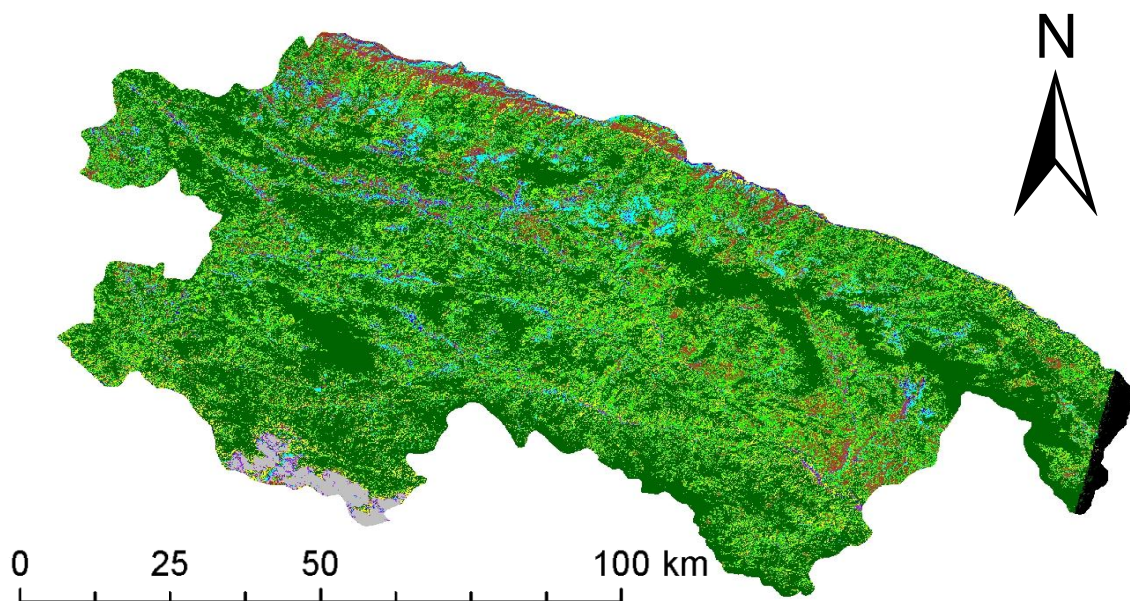


図 15 2000年11月2日 土地利用/土地被覆分類図

出所：図 13～図 15 米国地質調査所(<http://glovis.usgs.gov/>)のデータをもとに
筆者作成

表 13 土地利用/土地被覆分類項目と凡例

クラス	色	色名	凡例	具体的な土地利用/土地被覆
0	white	white	エラー	不明 (分析対象外)
1	cyan	cyan	水田	湛水田・水田
2	turquoise	turquoise	植生3	畦畔・湿地
3	blue	blue	水域	川・貯水池・ダム
4	black	black	影	影・崖
5	darkgreen	darkgreen	森林1	森林(自然林)
6	chartreuse	chartreuse	森林2	疎林・植林
7	green	green	植生1	草地
8	yellow	yellow	植生2	畑・果樹園
9	brown	brown	裸地1	裸地(植生なし)・集落
10	sienna	sienna	裸地2	荒地(植生少)
11	gray	gray	雲	雲 (対象外)
12	purple	purple	市街地	市街地・集落

出所：筆者作成

本研究では、最終的に、1974年、2000年、2006年において土地利用/土地被覆を12種類に分類した。1992年は画像の状態が悪く、また複数枚入手できずクロス分類ができなかったために、市街地は分類せずに裸地1へ含めて11種類に分類している。

土地利用分類のクラス分けとそれぞれのクラスの具体的な土地利用/土地被覆は表13である。表13において、クラス0はエラー及び分析対象地域外を示す。クラス1の土地利用/土地被覆は水田である。クラス2は畦畔や湿地等の植生を示す。水を溜めた水田と異なり、地表は雑草や畔となっている。クラス3は、水域を示す。川や貯水池、ダムなど、湛水田とは異なり水深が深く、通年で水が被覆している。クラス4は影である。雲影など、影となって土地利用/土地被覆が判別できない土地である。このクラスは土地利用ではなく、第5節4)以降の分析では面積を除外している。

クラス5は自然林の森林である。ゴム園や果樹林と区別している。生育した植林も含まれる。クラス6は、クラス5より植生が少ない疎林である。もともとまばらな林地や、生育途中の植林地が含まれる。クラス7は、草地である。ごく一部に、背丈が非常に低く植えられたばかりの植林地も含まれる。クラス8は、畑や果樹林など、水田以外で農業利用される土地である。クラス8にタバコ畑やサトウキビ畑の他、バナナ園やゴム畑など多様な植生を含めているのは、経済作物生産農地として特徴づけて、その土地利用決定を分析するためである。クラス9は裸地や集落であり、地表の露出した植生のほとんどない土地である。クラス10は荒地などであり、クラス9と比較し植生はわずかに見られるがクラス7の草地等より植生が少ない土地を区別している。クラス11は雲である。クラス4と同じく土地利用が判別できない土地であり、後の推計で面積を除外して分析している。クラス12は集落や市街地である。土地は建築物や道路で被覆されている。

以上の分類項目は、土地利用決定の経済モデルに整合し、経済分析に適したリモートセンシング土地利用/土地被覆項目を設定した結果である。地球科学等の分野における土地利用/土地被覆の分類とは異なり、土地の被覆や植生よりも土地利用選択の際の選択肢として基準を優先して区別している。また、各土地条件における、それぞれの土地利用が生み出す利潤の差に着目している。本研究では、土地利用/土地被覆データを独自に構築することによって、分けなくてよい項目と分けるべき項目を経済モデルの基準で分け、データとモデルの整合性を向上させている。

2段階での分類や、分類結果のクロス集計、補論1でのアルゴリズムにより、土地利用/土地被覆の分類はできる限り正確に行うことに努めたが、近い土地利用/土地被覆の間で誤分類されている恐れもある。例えば、植生1は草地、植生

2 は畑を示しているが、草地(植生 1)が植生が盛んで均一な生育であった際には、畑(植生 2)と非常によく似ており、完全には分離しきれていない可能性がある。正確に分類するためには、土地利用/土地被覆分類を 12 クラスよりも少なくすることも考えられるが、土地利用の実態は分かりにくくなる¹³⁹。本研究では、水田・畑・森林といった利用形態の明確な分類を重視し、最終的なクラスの数 は 12 に決定している。より正確な土地利用/土地被覆分類は今後の課題である。

第 4 節 解析結果の正確性の確認

1) リモートセンシング推計結果の検討

本研究におけるリモートセンシングでの土地利用/土地被覆分類の正確性を以下の手順で確認した。

まず、土地利用/土地被覆分類を行った画像上から、ランダムポイントを 2000 点発生させ、発生したポイントを Google Earth(earth.google.co.jp/)上に載せて(図 16)、そこで確認できる実際の土地利用/土地被覆と比較して正誤を判断した。Google Earth では GeoEye, Terra Metrics 等の衛星画像の一部が無料で確認できる。GeoEye の衛星画像ならば分解能が 50cm×50cm であるため、正確にその土地利用/土地被覆を判断することができる(図 17)。

GeoEye の画像が手に入るのは対象地域のうち半分程度である。ランダムに抽出した 2000 ポイントのうち 924 ポイントについて GeoEye で土地利用/土地被覆を確認でき、そのうち 735 ポイント($735/924=79.6\%$)が Landsat5 を解析した 2006 年の土地利用/土地被覆と整合した。また、それとは別に、クラス別正解率を、2000 年の土地利用/土地被覆分類結果からそれぞれのクラス中でランダムに 200 点とって検証した。各クラスでの正解率を算出したものが表 14 である。

¹³⁹ 例えば植生 1 と植生 2 を同じ土地利用に分類すると、土地利用分類正解率は上昇する。しかし、自然の植生に近い草地なのか、管理された畑なのかは判別できなくなる。

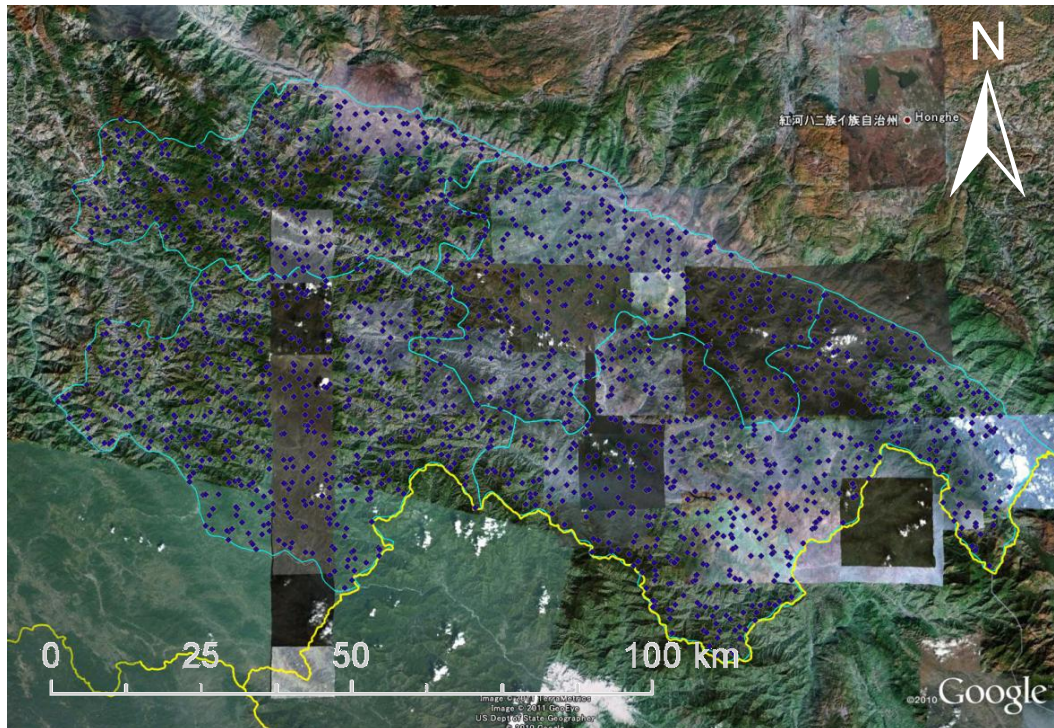


図 16 Google Earth でのランダムポイント

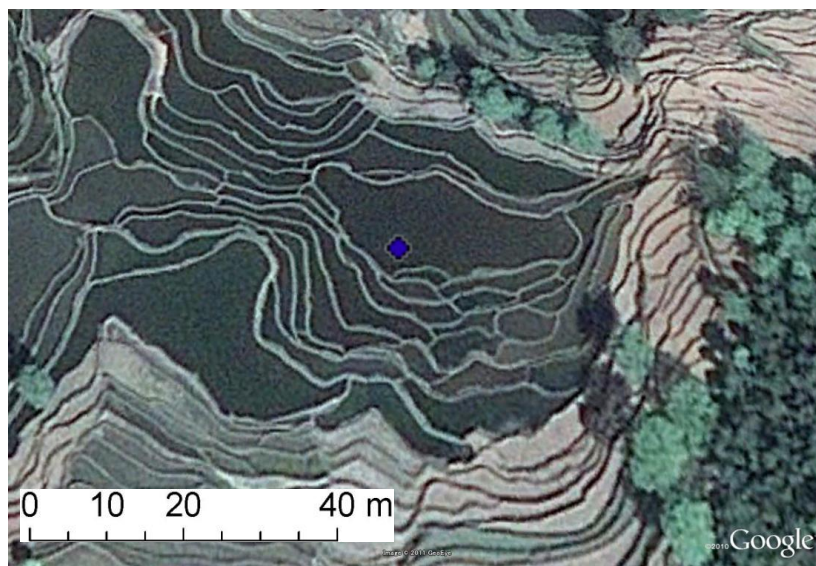


図 17 拡大図

出所：筆者作成

註：この図のポイントならば，実際の土地利用/土地被覆は“水田”ということが分かる．Google Earth の画像の中でも最も年次が近いものを参照とする衛星画像として使用した．

表 14 クラス別土地利用/土地被覆推計正解率

クラス	凡例	具体的な土地利用 /土地被覆	正解率(%)	正解数/検査数
1	水田	湛水田・水田	83.3	85/102
2	植生3	畦畔・湿地	61.2	60/98
3	水域	川・貯水池・ダム	77.6	66/85
5	森林	森林(自然林)	87.1	88/101
6	森林2	疎林・植林	78.6	99/126
7	植生1	草地	72.9	78/107
8	植生2	畑・果樹園	73.5	83/113
9	裸地1	裸地・集落	71.0	76/107
10	裸地2	荒地	75.0	84/112
12	市街地	市街地・集落	74.3	78/105

出所：筆者作成

表 14 によれば、水田や森では正解率が高く、畑や裸地では正解率が低い。全体でみると、土地利用/土地被覆のおよそ半分が森林で占められているため、正解率は 8 割近くになる。一般に全体で 8 割程度の正解率があればリモートセンシングによる解析として一定の水準を満たしていると言われている¹⁴⁰。事前に正解率の低いことが分かっていたクラス 2 については分類及びクロス分類の際にできるだけその比率を少なくし、水田・草地・荒地等に割り振った。

クラス 7 の草地とクラス 8 の畑・果樹園等の正解率が 73%程度と低いが、前述のように、圃場の整えられた畑でも、雑草等の生育状況によって、草地と混交することがあったためである。またクラス 9 の裸地とクラス 10 の荒地も正解率が低いが、クラス 9 やクラス 10 の土地利用/土地被覆を個別に抽出して経済分析は行っておらず、これらの間の誤分類は、本研究での分析には大きな影響を与えないと考えられる。本研究での分析の主題は水田面積を明らかにすることにあり、水田の正解率が 80%を超える今回の結果はリモートセンシングの既存研究と比較しても¹⁴¹遜色のない精度で推計できたと考えられる。

¹⁴⁰ 小川茂男氏による。

¹⁴¹ 秋山他(2007)、衛星リモートセンシング推進委員会環境ワーキンググループ(2009)を参照した。その上で、本研究での分析の際には、それぞれの土地利用の誤分類の可能性とその方向も考慮する。

2) 公刊統計との比較

対象 4 県に関する公刊統計とリモートセンシングによる土地利用/土地被覆分類の推計結果を比較する。図 18, 19 は 1974 年, 2000 年の水田面積について, 各県政府の統計誌とリモートセンシングの画像解析の結果を比較したものである。1974 年の元陽県の統計資料による面積は, 水田面積そのものではなく, 水稲作付面積である。

比較の結果, リモートセンシングでの土地利用/土地被覆の推計結果の方が公刊統計のデータより水田面積が大きいという結果であった。この傾向は, 同じく中国でリモートセンシングによる推計を行った Seto et al. (2002) や, 1996 年の国土調査やその他のリモートセンシング結果をまとめた Smil (1999) の指摘と同様の結果である。特に Smil (1999) は, 中国の公式統計が大幅に中国の農地の程度を過小評価していたことを述べている。1996 年に改めて行われた国土調査や, 蓄積されたリモートセンシング結果からは, 農地は少なくとも 1 億 3 千万 ~ 1 億 4 千万 ha であり, 1990 年代の FAO 統計に見られる中国政府公式統計の 9500 万 ha よりも約 40 % 高い¹⁴²。これは, 中国政府の把握状況と実際の土地被覆の差でもあるが, 公刊統計では, 耕地面積が過小に見積もられると言える。

このことに関連して考慮しておくべき対象地域特有の要因は以下 2 点である。一つは, 水田面積として農民が県政府に報告する面積が実際の面積より過小であり, 県政府が全ての水田を把握しきれていないことである。もう一つは, 水を溜めているが稲作の作付けはしていない水田が存在することである。現地での聞き取りによれば, 水田が荒れるのを防ぐために, 現在利用していない水田にも水を溜めることがあるという。リモートセンシングでは主に溜水田を水田として判別するため, 保全等のため水を溜めているが実際には利用されていない, または数年に一度だけ利用されるという土地を水田として過大に把握している可能性がある。

各県の統計資料によると, 元陽県以外で水田面積は増加し, 紅河県, 金平県, 緑春県でそれぞれ 1.83 倍, 1.25 倍, 1.24 倍になっている。リモートセンシングによる推計では, 紅河県, 緑春県では増加傾向を示しているものの, 金平県では減少しており, 県統計と乖離が見られる。リモートセンシングによる推計結果は, その土地の利用されてきた形態や項目を示すのではなく, 「画像を撮影した時点で何に被覆されているか」を示すものである。金平県では水田の畑地への変化が多く見受けられる。よって, 公式統計では水田として記録されている土地で, 畑としての土地利用がなされている可能性が指摘できる。

¹⁴² Smil (1999) は, これは低所得国に共通する問題でもあるとしている。

元陽県の県政府統計については、作付面積ではなく、水田面積で比較しても、1974年～2000年の間に減少している可能性がある。「耕地面積」は、中国の統計では水田面積に小麦、大豆などの栽培面積を加算した面積となっている。リモートセンシングでは、水田面積と畑面積の和として算出した。

県統計資料によると、元陽県以外で耕地面積は増加し、紅河県、金平県、緑春県でそれぞれ1.45倍、1.35倍、1.25倍になっている。リモートセンシングでは、紅河県、金平県でそれぞれ1.45倍、1.19倍であり、緑春県では2.47倍である。緑春県について、増加している傾向こそ一致しているものの、増加率は県統計資料とリモートセンシングによる推計で大きく異なる。この要因は、リモートセンシングでは「畑」の一部にゴム園等の面積が含まれるためである。緑春県は、1974年から2000年でゴム園や果樹林の面積が飛躍的に増加している。リモートセンシングで把握した畑面積や耕作面積が増大する背景になっていると考えられる。

森林について見ると、元陽県の資料によれば、1974年で林用地が16万1,586ha、有林地が2万5,611haであり、1985年で林用地が8万7,991ha、有林地が2万8,594haである。林用地の大幅な低下は文化大革命による大規模な開発の結果とされる¹⁴³。

本研究でのリモートセンシングでの推計では、1974年で森林面積は7万7,368ha、1992年で8万1,114haであった。県政府が有林地として確認し統計書にまとめるのは、一定以上のまとまった面積を持った森だと考えられる。それに対し、リモートセンシングでは、30m×30mの解像度のLandsatのデータだと、0.1haほどの林があれば森林として判別できる。したがって、リモートセンシングによる推計の方がより細かく、全ての林地を森林面積にカウントしていると思われる。リモートセンシング上の森林について、一定以上の面積のまとまりがあるもののみを「森」と集計していくことで、県政府がどの程度の面積を持った森を有林地等の定義で統計上扱っているのか判断することも可能であると考えられる。

以上、県政府の統計資料とリモートセンシングによる推計結果には部分的に大きな差異も見受けられるが、多くの場合で傾向的に一致していること、そしてその差異には合理的な理由が確認された。そのことを踏まえて本研究では、土地利用データは基本的にリモートセンシングデータによって明らかにした土地利用/土地被覆の判別結果に準拠することとした。

¹⁴³ 一般にはこのような急激な林地の減少は考えにくい。例えば、Liu et al. (2009)やLi et al. (2013)が用いた、中国全国のリモートセンシング推計による土地利用データでは、期間や範囲は違えど、1988年～2006年において森林の95%は変化なしとされている。筆者の管見の限り、中国以外の国と地域の研究を見渡しても、湿潤な地域の県レベルの範囲で、10年で林地が半減したようなリモートセンシング研究結果はない。

表 15 耕地面積 公刊資料とリモートセンシング結果

面積(ha)	県誌資料		リモートセンシング	
	1974年	2000年	1974年	2000年
元陽県	NA	11137	20823	15331
紅河県	4775	6941	10202	11075
金平県	9660	10892	12987	11469
緑春県	6318	7614	6777	9129
合計	20753	25447	29966	31673

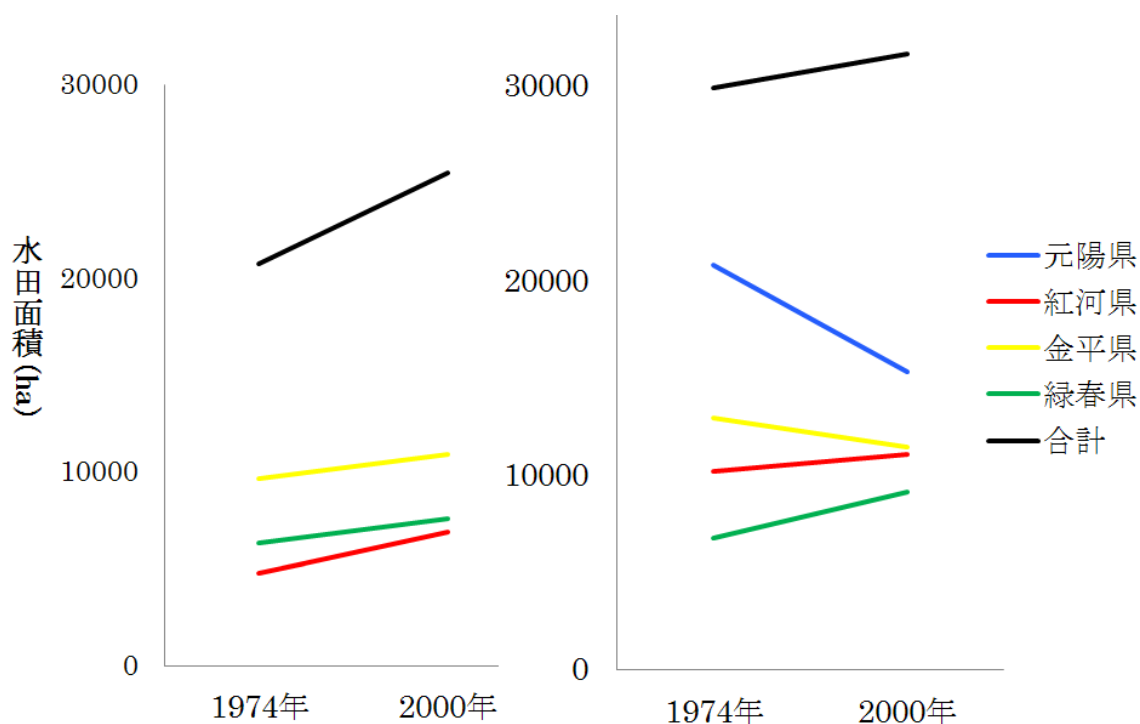


図 18 公刊資料による水田面積(ha) 左図

リモートセンシングによる水田面積(ha) 右図

出所：表 15, 図 18 各県統計資料 (元陽県誌 1991; 紅河県誌 1991; 緑春県誌 1992; 金平苗族瑶族傣族自治州誌 1994)より筆者作成

表 16 耕地面積 公刊資料とリモートセンシング結果

面積(ha)	県誌資料		リモートセンシング	
	1974年	2000年	1974年	2000年
元陽県	NA	20960	29132	30081
紅河県	11063	16116	15232	22222
金平県	20107	27270	33196	39313
緑春県	11063	14937	12585	21614
合計	42233	58323	61013	83149

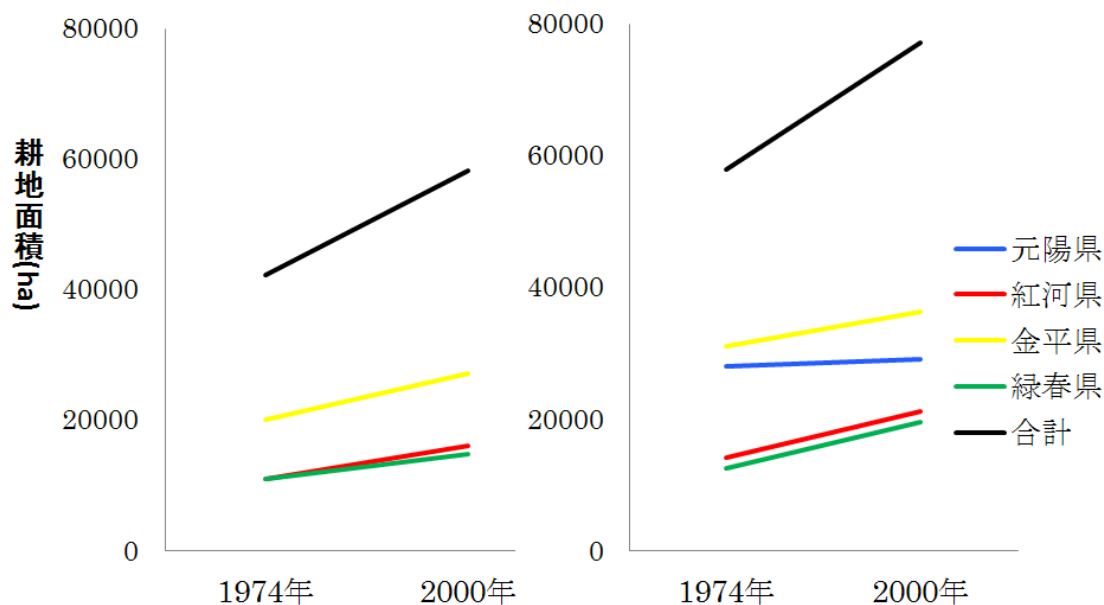


図 19 公刊資料による耕地面積(ha) 左図

リモートセンシングによる耕地面積(ha) 右図

出所：表 16, 図 19 各県統計資料（元陽県誌 1991；紅河県誌 1991；
緑春県誌 1992；金平苗族瑶族傣族自治州誌 1994）より筆者作成

註：雲南省年鑑・県統計誌により面積が明らかである年(1974年, 2000年)で比較した。1974年の元陽県中国統計誌のデータは耕地面積ではなく作付面積のみの記載であり，二毛作の影響等で比較できないために掲載していない。

第5節 土地利用/土地被覆の統計分析

1) 土地利用/土地被覆面積推計結果とその歴年変化

表 17 土地利用/土地被覆面積(ha)と割合(%)

主要な 土地利用	1974年		1992年		2000年		2006年	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
1 水田	54831	5.00	52072	4.86	49018	4.51	47754	4.36
2 畦畔	6582	0.60	3949	0.37	552	0.05	275	0.03
3 水域	5255	0.48	2192	0.20	5371	0.49	6526	0.60
4 影	4623	0.42	4487	0.42	2208	0.20	2315	0.21
5 森林	515463	46.99	497958	46.44	526014	48.42	548461	50.04
6 疎林	87409	7.97	152170	14.19	152141	14.00	146725	13.39
7 草地	105273	9.60	143305	13.36	121672	11.20	123399	11.26
8 畑	38417	3.50	51564	4.81	71281	6.56	75823	6.92
9 裸地	84267	7.68	24618	2.30	11230	1.03	10861	0.99
10 荒地	193341	17.62	139930	13.05	142370	13.10	129108	11.78
11 雲	0	0.00			4	0.00	0	0.00
12 市街地	1517	0.14			4566	0.42	4854	0.44
計	1096979	100	1072245	100	1086428	100	1096102	100

表 18 土地利用/土地被覆面積(ha)と割合(%)の変化

主要な 土地利用	1974年－1992年		1992－2000年		2000年－2006年	
	ha	%	ha	%	ha	%
1 水田	-2759	-0.14	-3054	-0.34	-1264	-0.16
2 畦畔	-2633	-0.23	-3397	-0.32	-277	-0.03
3 水域	-3062	-0.27	3179	0.29	1155	0.10
4 影	-137	0.00	-2279	-0.22	107	0.01
5 森林	-17505	-0.55	28056	1.98	22447	1.62
6 疎林	64761	6.22	-29	-0.19	-5416	-0.62
7 草地	38032	3.77	-21633	-2.17	1726	0.06
8 畑	13147	1.31	19717	1.75	4542	0.36
9 裸地	-59649	-5.39	-13388	-1.26	-368	-0.04
10 荒地	-53411	-4.57	2440	0.05	-13262	-1.33
11 雲	0	0.00	4	0.00	-4	0.00
12 市街地	-1517	-0.14	4566	0.42	287	0.02

出所：筆者作成

注：1) 画像データにはわずかにエラー部分が存在している。表中では、エラー部分を除外しているために、合計面積が一致していない。

2) 1992年は画像解析の際にクロス分類できず、画像状態も良くないため市街地を分類していない。市街地は裸地1に分類されている。

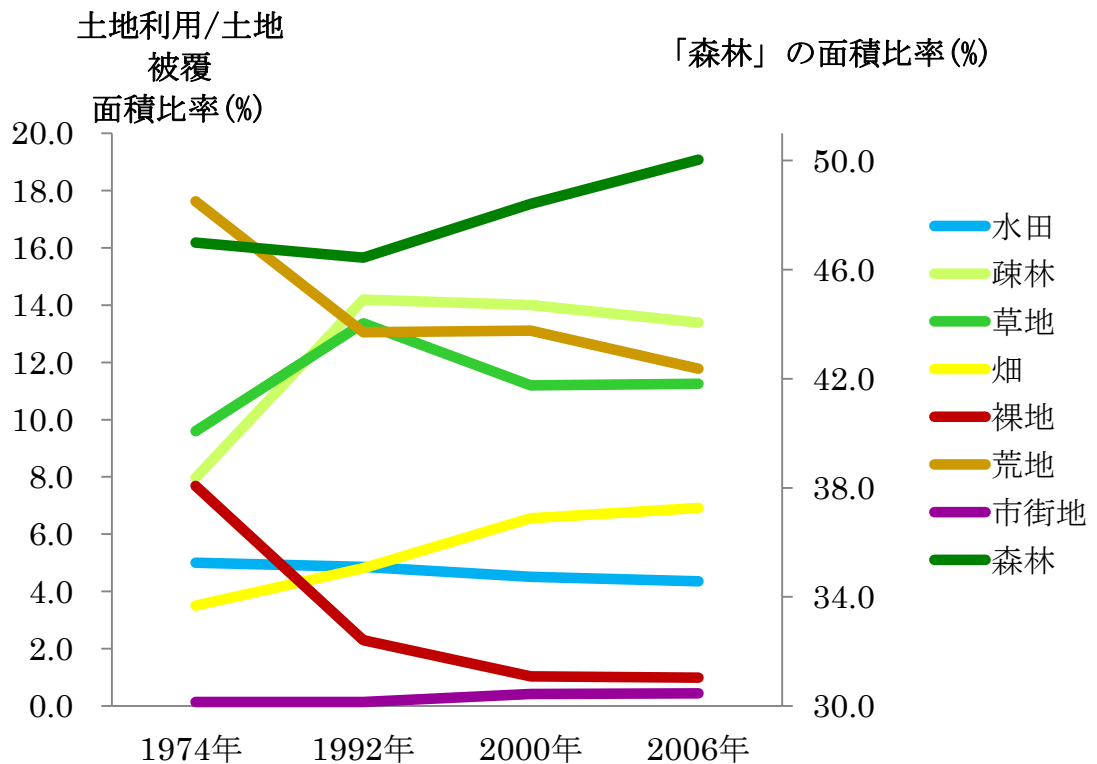


図 20 土地利用/土地被覆分類結果・面積割合(%)の変化

出所：筆者作成

リモートセンシングにより推計した各年の土地利用/土地被覆面積を表 17 に、その変化量を表 18 に、そしてグラフ化したものを図 20 にまとめた。

表 17, 表 18, 図 20 から読み取れる土地利用/土地被覆変化の特徴として大きく 3 点挙げる事ができる。第一に、森林の面積は、僅かに減少した後、一転して増加している。具体的に言えば、森林面積は 1974 年には全体の 47%ほどを占めていたが、1992 年には 46.5%弱になっている。その後 2000 年には 48%を越えるまで回復し、2006 年には約 50%を占めている。これには中国の制度変化による影響があるのではないかと考えられる。各県の県誌によると、中国では、1960 年代から 1970 年代後半まで文化大革命の影響で大規模なインフラ整備が行われた。特に元陽県では、1949 年以前に 80 万ムー(5.3 万 ha)以上あった森林面積が、森林伐採を伴う大規模なインフラ整備の影響で 1970 年代には 38 万ムー余り(2.5 万 ha)まで低下したとされる¹⁴⁴。

元陽県では、1974 年～2006 年の期間で見ると、1974 年が最も森林面積が少なくその後植生が回復してい。また、その 1974 年には伐採地と見られる荒地や裸地が多く観察された。2000 年以降に森林面積が増加しているが、1980 年前

¹⁴⁴ 元陽県誌(1999)を参照。

後から各県で試行された森林法¹⁴⁵をはじめとする森林保護政策の影響が考えられる。1980年代の森林保護政策は、伐採を規制する政策ではあったものの、植林を促す政策ではなかったため、効果が現れるのが遅く、1992年の土地利用/土地被覆分類図で森林の増加を確認できなかったと推測される。1992年は、1974年土地利用/土地被覆分類図と比較して荒地や裸地が減少し、森林より植生が少ない土地を表す「疎林」の面積が急増している様子が観察されるのである。

2000年から2006年の森林の増加には、退耕還林政策等¹⁴⁶の植林政策の影響が考えられる。植林による緑地の急速な増加は、衛星画像に直接的反映されている。なお、先に触れた通り、リモートセンシングでは、まとまった面積を持たない木の集まりも、30m四方ほどの面積を持てば森として判別されるため、必ずしも大規模でない土地利用/土地被覆の変動も把握されたと推測される。

第二に、水田面積は長期的に減少しており、約30年間で10%ほどが失われた。対象地域の4県の水田はそのほとんどが傾斜地の棚田である¹⁴⁷のだが、この結果から本研究での主たる対象である伝統的な棚田は減少していつているということになる。特に1992年から2000年の期間の減少率が大きい。逆に1992年から2000年には畑と森林の面が大きく増加している。特に2000年以降に、元陽県の紅河近隣の低標高地帯や、南部の低緯度地帯が多い金平県で畑が多く観察される(図23,24)。品目としては、バナナやサトウキビの他、トウモロコシ、タバコ、茶、南部ではゴム園が多い。

聞き取りによれば、水田の稲作は半自給的に利用されるが、畑作は商品作物の栽培が主である。畑作・商品作物の急速な増加の原因の一つには、1980年代後半からの中国の農産物流通自由化の影響があるだろう。中国では1985年に青果物の流通が、1992年には穀物流通が自由化され、それに伴い農産物価格も原則自由化された¹⁴⁸。広域流通の発達や消費地の卸売市場の発展による農産物生産の多様化や産地形成¹⁴⁹が、土地利用/土地被覆の変化に現れていると考えられる。

低標高地帯等では水田から畑へ変化していく様子が観察される。2000年から2006年の間にも水田は減少し畑が増加しており、畑作への転換が行われた可能性がある。一方、森林の面積が大きく増加した原因は、前述のように制度変化の影響が見てとれる。退耕還林政策はまさに耕地を減少させ緑地を増やす政策

¹⁴⁵ 森林法は森林伐採の制限や森林の使用権移譲の制限等が定められている(中国政府门户网站 2005年9月13日 全国人大法规库 www.gov.cn).中国全土では1985年に施行された。

¹⁴⁶ 人工林でも、果樹林等の農業生産を目的とした木ではない場合には「疎林」「森林」というクラスに分類している。

¹⁴⁷ 第5節2)図28を参照。

¹⁴⁸ 寶劔(2003)を参照。

¹⁴⁹ 菅沼(1995)を参照。

¹⁵⁰である。退耕還林政策は穀物の支給という支援があることから、収益性の低い水田や棚田が優先的に退耕還林政策で林用地に転換された可能性が高い。

第三に、荒地や裸地は年を追うにつれ減少し、疎林や草地は1992年以降大きな変化がない。荒地が畑地や草地に転じた、草地や疎林では木が育って森林になったことで一定の均衡状態にあると推測される。先進諸国では経済の発展に伴い、畜産が増加し牧草地が拡大していったのだが¹⁵¹、民族や地形面で独特の条件を持つこの地でも同じような変化が見られるのか、今後注目される。

¹⁵⁰ 池上(2008)を参照。

¹⁵¹ Lambin(2001)を参照。

2) 土地利用/土地被覆の分布

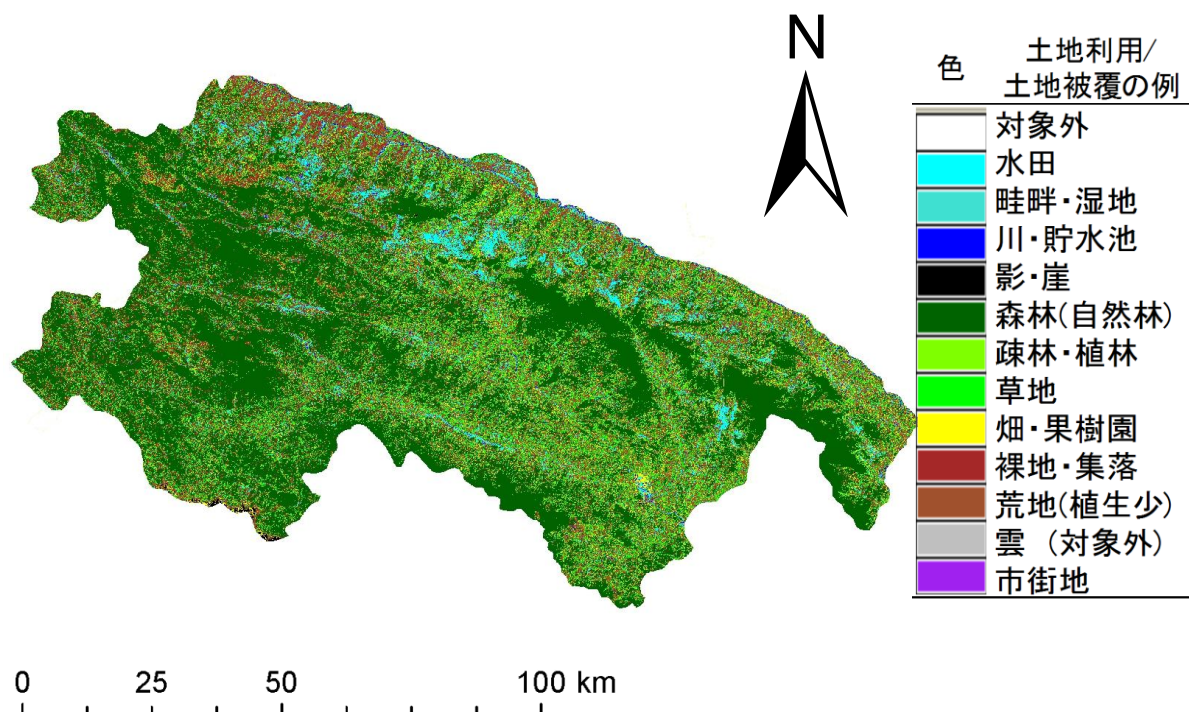


図 21 1974 年土地利用/土地被覆分類図

出所：筆者作成

本節では、年次ごとの土地利用/土地被覆分類図から視覚的に読み取れることを記述する。

図 21 の 1974 年の土地利用/土地被覆分類図によると、北西部に茶色で示された荒地や裸地が目立つ。また、この裸地分布は、周囲は疎林や草地といった比較的植生の少ない土地被覆ではなく、森林の中に突然現れている。これは、森林の伐採により裸地化した状態だと見ることができる。特に北部の紅河県・元陽県で荒地や裸地が多く見られる。

紅河県誌(1991)によれば、1958~60 年に大躍進政策が行われ、人海戦術による道路整備やダム建設といったインフラ整備、製鉄用の森林伐採が大規模に行われたと記載がある。さらに、1960 年代は人口増加に伴い農地開発のための伐採がなされ、1966~76 年の 10 年間¹⁵²のうちに耕作地として 354ha 開墾されているとされる。元陽県誌(1991)でも、1949 年以前では 24%ほどあった森林被覆率が、1970 年代には 11.6%まで低下しており、紅河県と同様に 1950 年代末の大躍進政策、1960~1970 年代の文化大革命によるインフラ整備、農地開墾が原

¹⁵² 文化大革命にあたる。

因であると考えられる。

水色で示した水田に関しては、まとまった水田地帯が広く観察される。これは 1992 年や 2000 年以降は見られない特徴である。黄色で示された畑作地は東南部に僅かに見られるのみである。中央上部の元陽県が「ハニ族棚田」の中心とされるが、1974 年時点では水田地帯が広がっている。

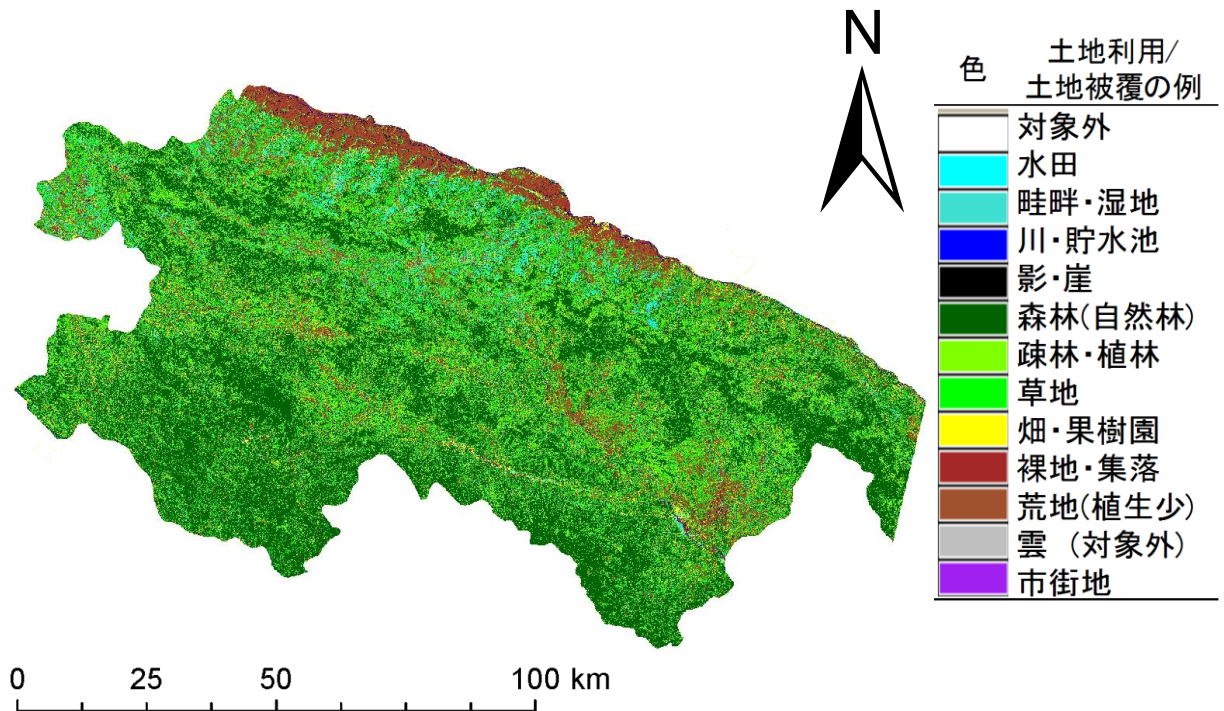


図 22 1992 年土地利用/土地被覆分類図

出所：筆者作成

図 22 では、1974 年の画像と比較して、北部での荒地がさらに目立つ。この荒地が目立つ地域は、地理的には標高が低く、紅河が近いといった特徴があり、センサスデータによれば、1975 年～2000 年で人口増加率が大きかった。

土地利用/土地被覆変化の特徴としては、水田の荒地への変化、森林の荒地への変化が多くみられた。これらの地域では、さらに 2000 年以降には市街地が拡大していることから、文化大革命以後も開発が進み、森林の後退や水田の潰廃と都市化が進んだことが分かる。

紅河県誌(1991)、元陽県誌(1991)によると、1978 年と 1980 年に森林保護に伐採を規制する政策が施行されている¹⁵³。1974 年に森林の中にスポットのように見られた荒地は、黄緑色の草地や疎林に変化している。これは、自然の回復や、森林保護政策による自然植生の回復や植林が捉えられた結果の一部と考えられる。

¹⁵³ 各県の統計誌によれば、林用地の転用や利用権の貸し借りに制限を設けた森林法が 1980 年に施行されるなど制度の変更があった。

その他，金平県の南東部・低緯度地域で荒地の増大が見られる．この地域では 2000 年以降，市街地が目立って増えた．さらに南部の国境近くの地帯で森林面積が増加している．もう一点特徴的なのは，中央南部で広がっていた水田が，黄色の畑にとって代わられたことであり，農産物自由化の影響が推測される．

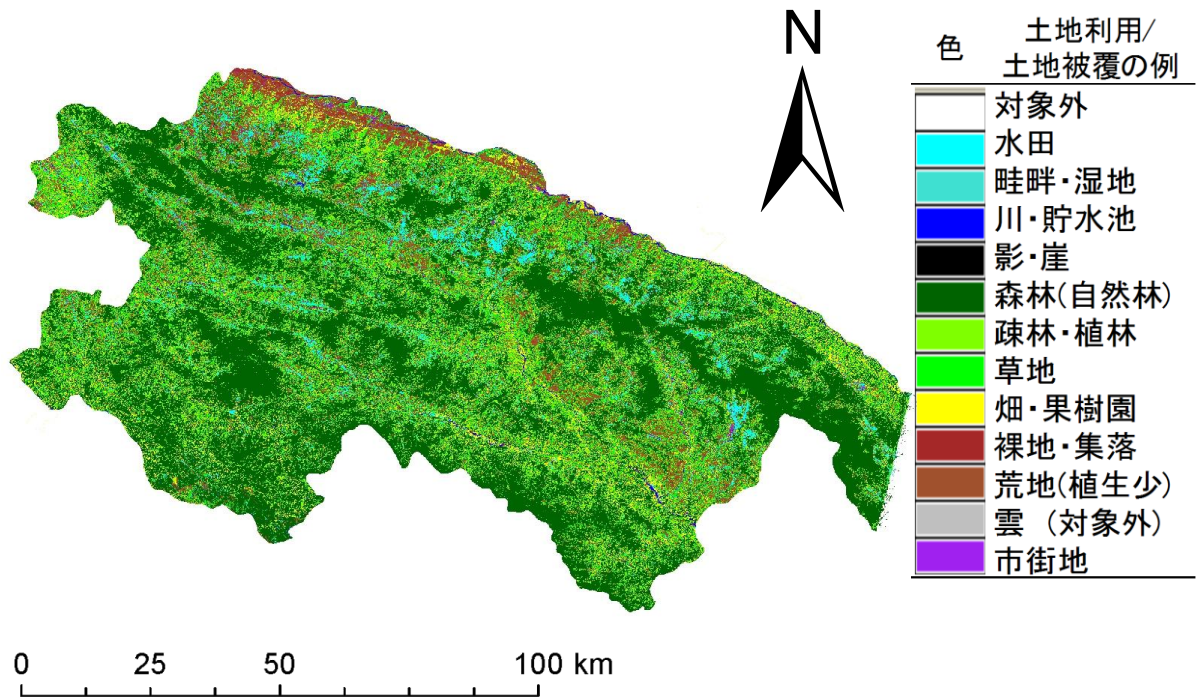


図 23 2000 年土地利用/土地被覆分類図

出所：筆者作成

図 23 の 2000 年の状況からは、1974 年、1992 年の画像と比較して、はっきりとした黄色で示された畑の存在が読み取れる。1992 年で荒地だった場所が畑になっている場合が見られるほか、後述の標高データと突き合わせて確認すると、畑の増加は特に標高の低い土地で顕著なことが確認できる。1992 年で荒地として目立っていた北部で、草地化、畑地化が見られる。植林や畑作物の作付けが増えていると予想される。

紅河県の北西部、緑春県の南部等で 1974 年には見られなかった水田が観察される。逆に、紅河県の北部、元陽県、金平県の一部で、1974 年には水田であった土地の畑地への変化が観察される。傾向として、1974 年でまとまっていた水田の分布が、2000 年には散り散りになっている様子が見える。

金平県の北東部、紅河付近でも 1974 年では荒地と草地が見られていたが、2000 年には畑地が広く分布するようになっている。荒地の減少と森林の増加もはっきりと読み取れる。1980 年代から展開された森林保護政策の成果は、1992 年段階では確認できなかったが、2000 年にははっきりと観察することができた。

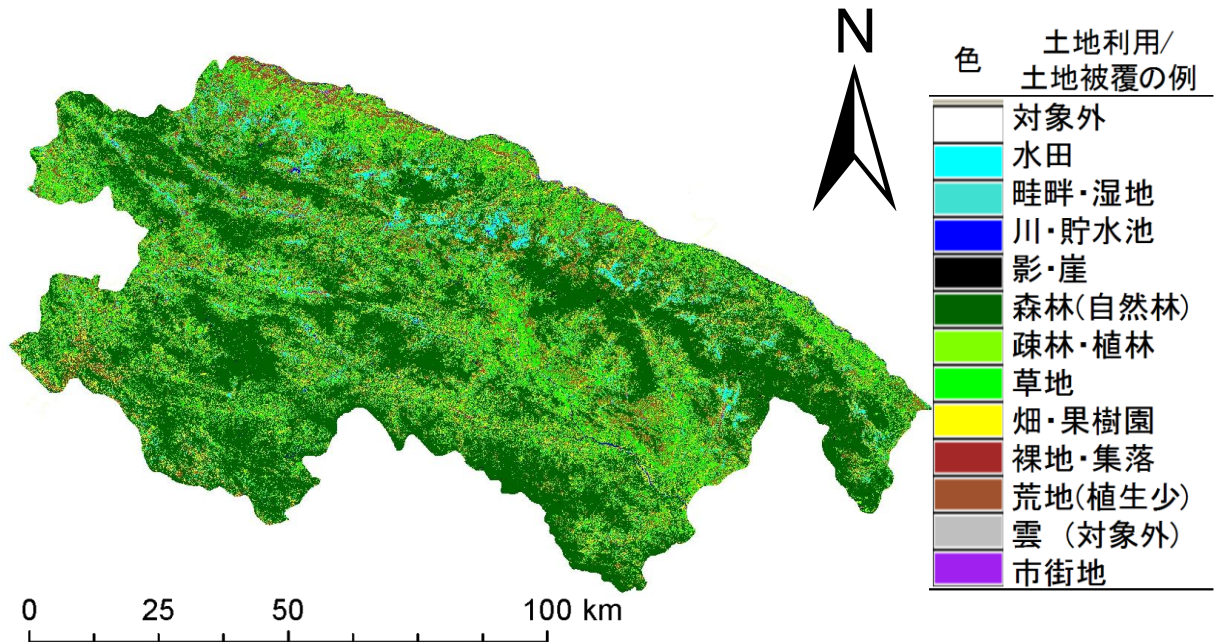


図 24 2006 年土地利用/土地被覆分類図

出所：筆者作成

図 24 での 2006 年の状況からは、2000 年と比較して北部で荒地が減少して、その代わりに草地が拡大している。数値的には必ずしも草地が大きく増大したわけではなく、森林が面積を拡大しつつ、草地や疎林も徐々に広がったことになっている。2000 年に森であった土地や水田であった土地の土地利用/土地被覆はあまり変化していない事が分かる。

また、2000 年の時期よりさらに広い範囲で南部に黄色の商品作物地帯が見られる。深尾（2004）は本対象地域の西部の県においてゴム園の急速な拡大を紹介しているが、本稿での南側、低標高の緑春県や金平県においてもゴム園の拡大が見られた¹⁵⁴。1985 年の農産物自由化の下、山林の所有権の確定や自留山の確定も手伝って、原生林が切り開かれゴム園が広がったことが考えられる。

荒地の面積はこれまでの画像の中で最も少なくなっており、多くの土地が緑（森林）や黄緑（草地，疎林）で覆われていることが分かる。2000 年以降、退耕還林

¹⁵⁴ 2009 年の Google Earth による GeoEye 画像でも、同じ地域で改めてゴム園の存在が確認できている。

政策による植林政策の効果が短期間のうちに森林の被覆面積増加という形で出ている可能性がある。

実際に 2010 年の Google Earth 画像からは、元陽県の北部で、植林されている木々を確認することができる¹⁵⁵。衛星画像解析の結果からは、新たに植林された生育過程の木々が森林や疎林として分類されており、荒地や裸地は減少する結果になっている。

3) 地理的データとの結合

ASTER GDEM による標高データを使用することで、30m 四方のセルでの平均標高を把握できる。

図 25 は対象地域の標高の状況を示している。この画像データによって、まず対象地は標高約 76m~2987m に分布し非常に標高差が激しいことが分かる。標高 500m 未満の低地帯は、県境となっている北部の紅河沿いと南部の金平県を横切る金水河沿い、緑春県南部県境の李仙江沿いに限られている。それ以外の大部分の地域は 500m 以上の山間地帯が占めており、対象地域は北緯 22 度~24 度という低緯度地域にもかかわらず、標高が高いため作付けできる作物が限定される¹⁵⁶。

現地での聞き取りによれば、元陽県においても、標高の低い地域ならばバナナ等の商品作物が栽培できるが、中~高標高地帯では水稻の作付けが多く、水稻の中でも標高が上がるにつれて収量が低い冷害に強い品種が作付けられていく。標高 1700m 以上では、米の収穫が難しく、雑穀等が栽培されている¹⁵⁷。他県でも低標高地帯では商品作物の作付けが広く行われ、金平県では広大なバナナ園やゴム園が見られる。

図 26 は標高差から GIS により算出した斜度である。2 度から 73 度まで斜度が分布している。標高のデータと区別するために青色から赤色で着色した。平坦な土地はほとんどなく、対象地域の大部分は起伏の激しい傾斜地だとわかる。斜度の増加は、農地管理における農産物生産コストの増加、移動コストの増加、日照量の変化や土壌や水の流失によって、土地の農業生産条件に負の影響を及ぼし、土地利用/土地被覆も左右してしまうことが予想される。図 26 を土地利用/土地被覆分類図と比較すると、画像中央部に位置する斜度 40 度以上の青い地域が連なる部分と、1992 年や 2000 年での荒地、2006 年での草地が重なる。また、

¹⁵⁵ 1974 年や 1992 年次には荒地であった地帯である。

¹⁵⁶ 安達(2012)を参照。安達(2012)は元陽県の低標高帯ではバナナやサトウキビを作付けしているとしている。

¹⁵⁷ 現地での聞き取り調査より。

金平県の東北部分にある傾斜のきつい青色の部分は、全ての年の土地利用/土地被覆が森林となっている。斜度が一定以上大きい場所では、土地の開発が困難であり、土地利用/土地被覆の変化が少ないと予想される。

図 27 は国道・省道¹⁵⁸からの各セルを通過するごとに加算される斜度の平方根の総和を算出し、その値を図示したものである。セル毎の移動コストを加味したアクセス指標は GIS で一般的に「コスト距離(cost distance)」と呼ばれ、コスト指標には傾斜や土地被覆が用いられる¹⁵⁹。本研究では Nelson et al. (1997)を参考に斜度の平方根をコスト指標に使用した。道路からのコスト距離が短い地域では、どの年次の土地利用/土地被覆分類図でも森林の割合が少ない。また、1974 年や 1992 年では荒地が多かったが、2000 年や 2006 年になると畑や草場が多かったことがわかる。道路からのコスト距離が大きな地域(茶色部分)では、森林の分布が著しく多いことが確認できる。

元陽県誌(1991)には、省道に関する以下の記述がある。

元陽県から北の建水県に抜ける道路は 1955 年に着工され、1957 年 6 月に開通した。また、1966 年に紅河に大きな橋がかけられた。元陽県から緑春県に至る道路は 1958 年に着工され 1960 年 4 月に一部が開通し、1966 年に 4 月に全体が開通した。元陽県から紅河県に至る道路は紅河県政府が管轄し、1960 年に開通した。1979 年 1 月に道路が改修された。

他の県統計誌でも、1950 年代後半の大躍進政策、1960~1970 年代の文化大革命により道路整備が行われ、1980 年代までには省道が開通している。図中のどこの区間が何年に開通したのか正確に読み取ることはできなかったが、国道・省道レベルの道路について、1974 年には多くの道路が開通し、1992 年にはほとんどの区間で完成していたと考えられる。さらなる分析のためには、中国のインフラ整備状況について今以上に正確に把握することが必要である。

なお、リモートセンシングで判別した水田のうち「棚田」と呼べるものが何%あるのかを確認するために、土地利用/土地被覆ごとの斜度のヒストグラムを確認した(図 28)。わが国の農林水産省の定義¹⁶⁰によれば、斜度 5 度以上の土地での水田は棚田である。水田の斜度ヒストグラムを確認することで、傾斜地に存在する「棚田」を確認できる。

対象地域において土地利用/土地被覆分類で水田とされた土地のうち、斜度 5

¹⁵⁸ 国道・省道の道路データは China Data Center(<http://chinadatacenter.org>)の 2000 年 GIS データを使用した。

¹⁵⁹ Ray(2005)や Richard(2010)等を参照。

¹⁶⁰ 農林水産省(2010)「農林水産用語集」(http://www.maff.go.jp/yougo_syu/index.html)によれば、棚田は「傾斜地に等高線に沿って作られた水田」であり、傾斜度が 20 分の 1(水平距離を 20 メートル進んで 1 メートル高くなる傾斜)以上の水田を「棚田」として認定する。認定された棚田は、助成金が交付される」としている。

度以上のものは 1974 年で 93.76%, 1992 年で 96.88%, 2000 年で 95.47%, 2006 年で 95.75%であった¹⁶¹。したがって、対象地域に存在するほとんどすべての水田がわが国の農林水産省の定義では「棚田」と見なすことができた。以降、本研究の分析に際して、水田面積を棚田の面積の近似として考える。もちろん、すべての水田が棚田というわけではなく、特に 1974 年ではその差が大きいという点は今後の分析と考察で留意しなければならない。

¹⁶¹ 対象地域全体では、97.97%が斜度 5 度以上。

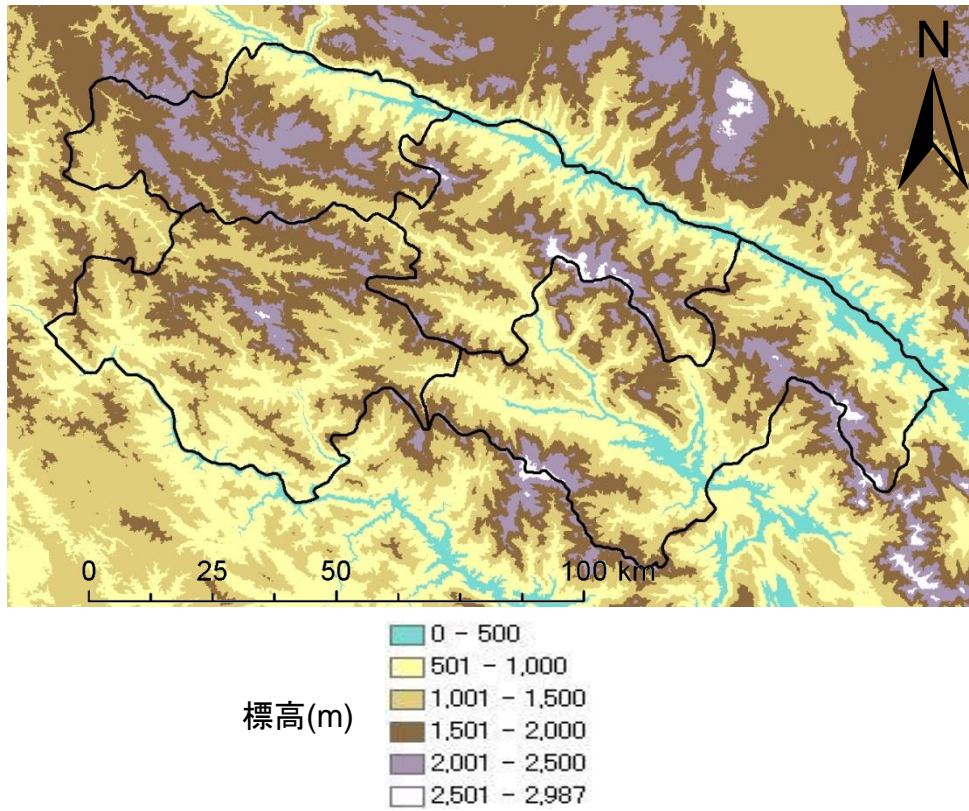


図 25 対象地域における標高(m)データ

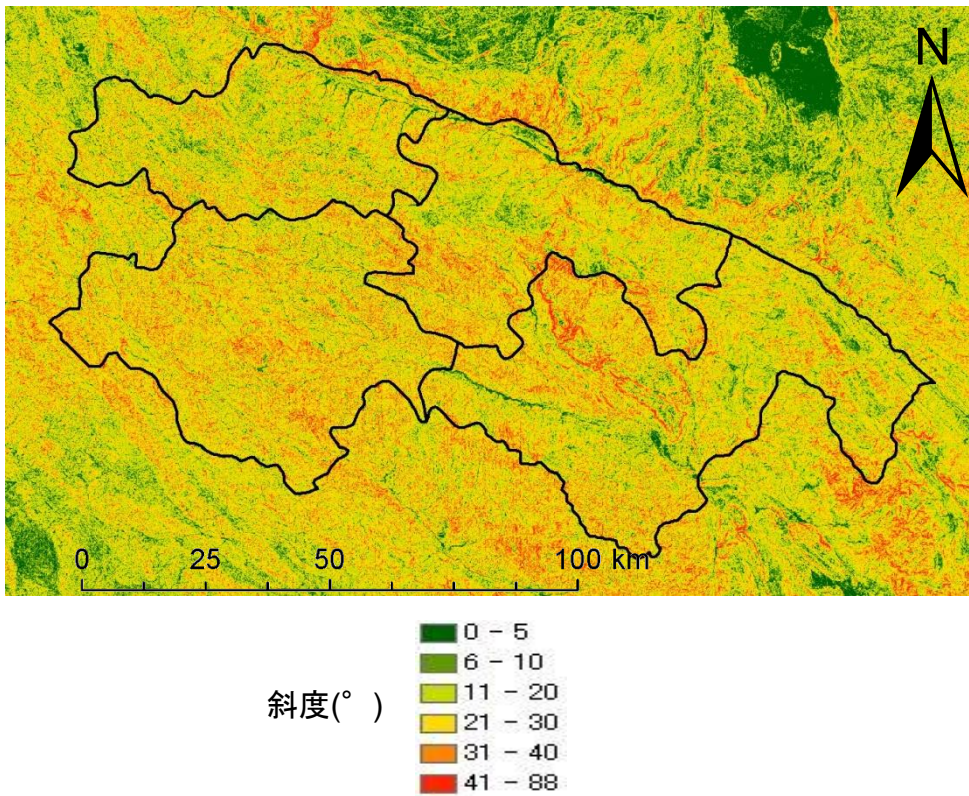


図 26 対象地域における斜度(°)データ

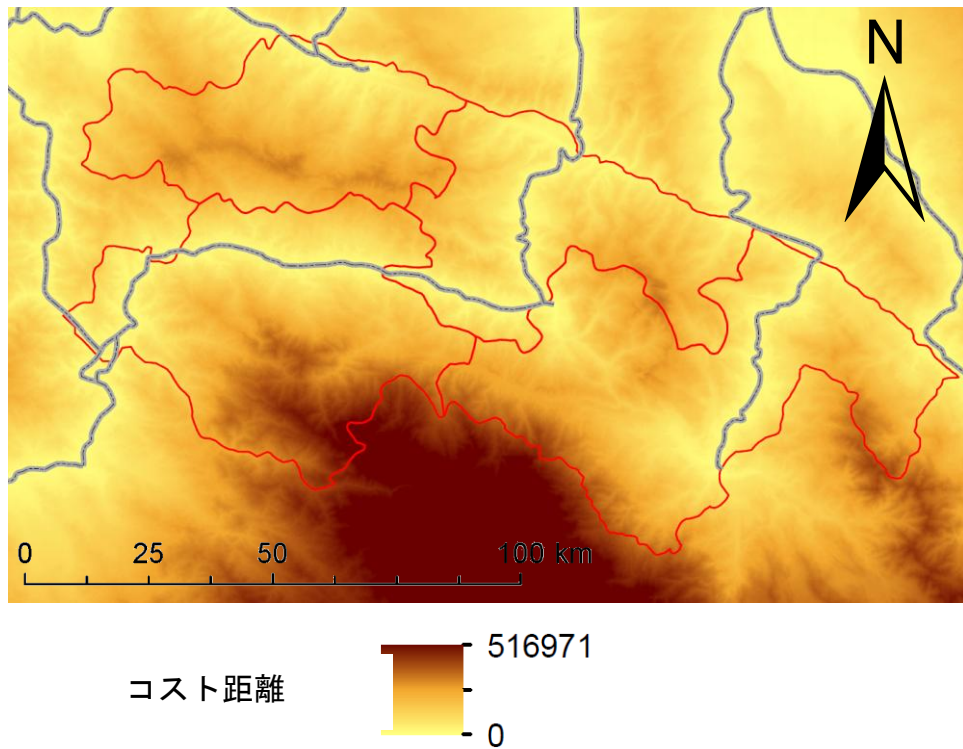


図 27 対象地域における国道・省道からのコスト距離

出所：図 25~27 ASTER GDEM の標高データ，China Data Center の道路データを基に筆者作成

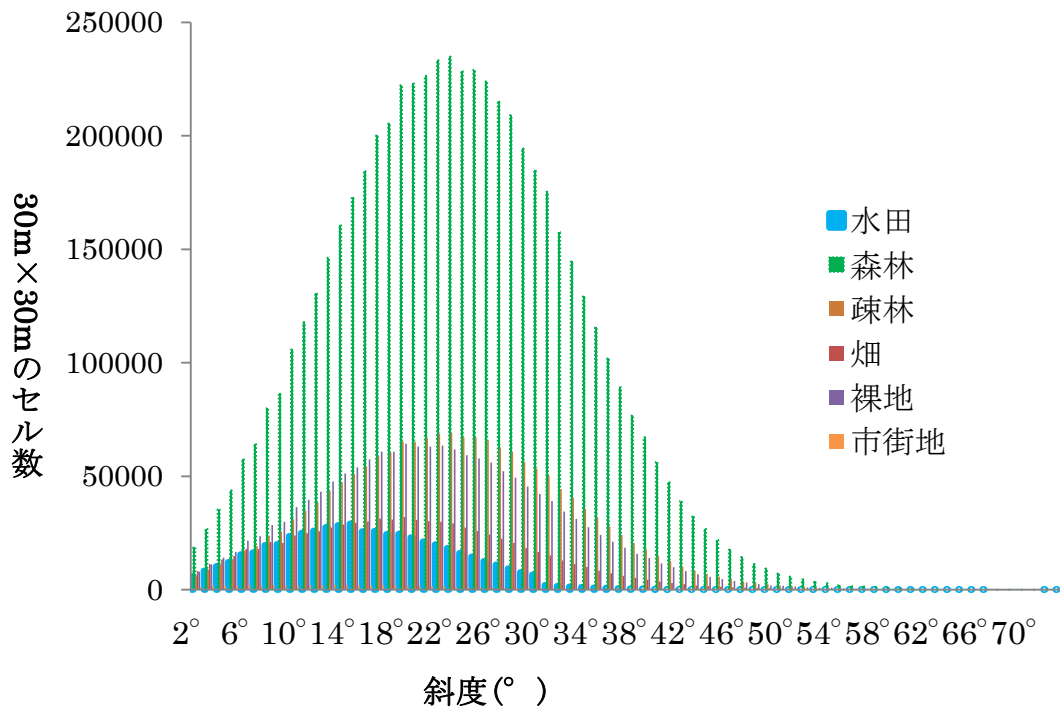


図 28 2000 年の土地利用/土地被覆分類と斜度のヒストグラム

4) 地理的データの統計分析

本項(第3章第4節4項)以降では、Chomitz(1996)等のリモートセンシングデータを使用した経済分析や、Seto et al. (2003), Li et al. (2013)等の中国における土地利用の経済分析に習い、土地利用/土地被覆を「土地利用」と読み替えて分析を行う。

土地利用/土地被覆は表13の通りである。主要な土地利用はそれぞれ、クラス1が水田、クラス2が畦畔、クラス3が水域(川・貯水池)、クラス5が森林、クラス6が疎林、クラス7が草地、クラス8が畑、クラス9が裸地、クラス10が荒地、クラス12が市街地となっている。第2章第1節で述べたように、本研究では特にクラス1の水田を水稲生産農地、クラス5の森林を非耕作地かつ自然資源、クラス8の畑を経済作物生産農地として着目する。

表19は、郷鎮庁舎からの直線距離によって土地利用面積を分けたものである。対象地域において、郷鎮庁舎は都市部の中心に位置し、郷鎮庁舎からの距離は都市部からの距離の代理として見ることができる。

図29は表19の結果に基づいて、2000年における郷鎮庁舎からの距離と主要な土地利用を比較したものである。図29では、0~5000mまでの距離の範囲では、面積率のパターンから、ほぼチューネンモデルで想定した通りの分布を示している。チューネンモデルだと距離によって途中で完全に土地利用が切り替わることになるが、もちろん実態はそうではないし、例えばChomitz(1996)によるロジットモデルによる分析でもそのような完全な切り替わりは仮定していない。図29で描かれる曲線は、Chomitz et al. (1996)やMunroe et al. (2002)の実証結果と整合的である。5000mを超えると、再び水田が畑地を下回っている。これは、対象地域では、南部で大規模なゴムプランテーションなどが広がり、輸送劣化の少ない作物が都市部から遠い地域でも一定割合生産されているためだと考えられる。

表19で2000年から2006年にかけての森林面積の推移をみると、都市部の近くで増加している。これは、郷鎮庁舎のより近くで退耕還林政策による植林が行われたということ考えると、整合性を持つ結果である。

表 19 1974年～2006年における郷鎮庁舎からの距離と
水田・畑・森林面積(ha)・割合(%)

1974年と92年

郷鎮庁舎 からの距離(m)	1974年			1992年			
	面積 ha	面積率 (%)	全体の 割合 (%)	面積 ha	面積率 (%)	全体の 割合 (%)	
水田	0~500m	566	13.86	1.03	293	7.32	0.56
	501~1000m	1372	11.23	2.50	988	8.21	1.90
	1001~3000m	12074	9.56	22.02	9853	7.90	18.92
	3001~5000m	16838	7.45	30.71	15326	6.87	29.43
	5001~7500m	12499	4.28	22.80	12893	4.50	24.76
	7501~10000m	6517	3.02	11.89	6997	3.33	13.44
	10001~15000m	4002	2.49	7.30	4567	2.98	8.77
	15001m~	891	1.88	1.76	1102	2.43	2.22
			100.00			100.00	
畑	0~500m	263	6.44	0.69	268	6.69	0.52
	501~1000m	638	5.22	1.66	798	6.63	1.55
	1001~3000m	5624	4.45	14.64	7200	5.77	13.96
	3001~5000m	9066	4.01	23.60	11756	5.27	22.80
	5001~7500m	10059	3.45	26.18	12768	4.46	24.76
	7501~10000m	6856	3.17	17.85	10326	4.91	20.03
	10001~15000m	4472	2.79	11.64	6993	4.56	13.56
	15001m~	1296	2.74	3.75	1367	3.02	2.82
			100.00			100.00	
森林	0~500m	899	22.01	0.17	1156	28.87	0.23
	501~1000m	3409	27.90	0.66	3693	30.68	0.74
	1001~3000m	43414	34.38	8.42	43388	34.77	8.71
	3001~5000m	91264	40.40	17.71	86378	38.71	17.35
	5001~7500m	139799	47.91	27.12	129335	45.13	25.97
	7501~10000m	110828	51.32	21.50	101906	48.45	20.46
	10001~15000m	89330	55.68	17.33	89011	58.08	17.88
	15001m~	27170	57.38	7.08	32138	71.01	8.65
			100.00			100.00	

表 19(続き) 1974年～2006年における郷鎮庁舎からの距離と
水田・畑・森林面積(ha)・割合(%)
2000年と06年

郷鎮庁舎 からの距離(m)	2000年			2006年			
	面積 ha	面積率 (%)	全体の 割合 (%)	面積 ha	面積率 (%)	全体の 割合 (%)	
水田	0~500m	350	8.56	0.71	316	7.73	0.66
	501~1000m	1063	8.70	2.17	993	8.13	2.08
	1001~3000m	10596	8.39	21.62	10079	7.98	21.11
	3001~5000m	15698	6.96	32.03	14983	6.63	31.38
	5001~7500m	12055	4.17	24.59	11254	3.86	23.57
	7501~10000m	5597	2.63	11.42	5570	2.58	11.66
	10001~15000m	3064	1.95	6.25	3706	2.32	7.76
	15001m~	570	1.23	1.22	800	1.70	1.79
			100.00			100.00	
畑	0~500m	428	10.48	0.60	515	12.61	0.68
	501~1000m	1110	9.09	1.56	1233	10.10	1.63
	1001~3000m	9696	7.68	13.60	10481	8.30	13.82
	3001~5000m	15484	6.86	21.72	16601	7.35	21.89
	5001~7500m	17170	5.93	24.09	19114	6.55	25.21
	7501~10000m	13626	6.40	19.12	14898	6.90	19.65
	10001~15000m	10549	6.73	14.80	10110	6.32	13.33
	15001m~	3013	6.51	4.51	2687	5.69	3.78
			100.00			100.00	
森林	0~500m	1151	28.18	0.22	1302	31.88	0.24
	501~1000m	3949	32.33	0.75	4294	35.15	0.78
	1001~3000m	45651	36.16	8.68	49032	38.83	8.94
	3001~5000m	93781	41.56	17.83	98265	43.51	17.92
	5001~7500m	138992	48.02	26.42	146154	50.09	26.65
	7501~10000m	109307	51.33	20.78	111747	51.78	20.37
	10001~15000m	92545	59.05	17.59	94887	59.29	17.30
	15001m~	29988	64.81	7.73	31689	67.12	7.80
			100.00			100.00	

出所：筆者作成

註：1) それぞれ郷鎮庁舎からの距離の範囲を示している。

2) 郷鎮庁舎からの距離が15000m～の範囲はエリア外が多いために全体の面積に対する割合が少ない。

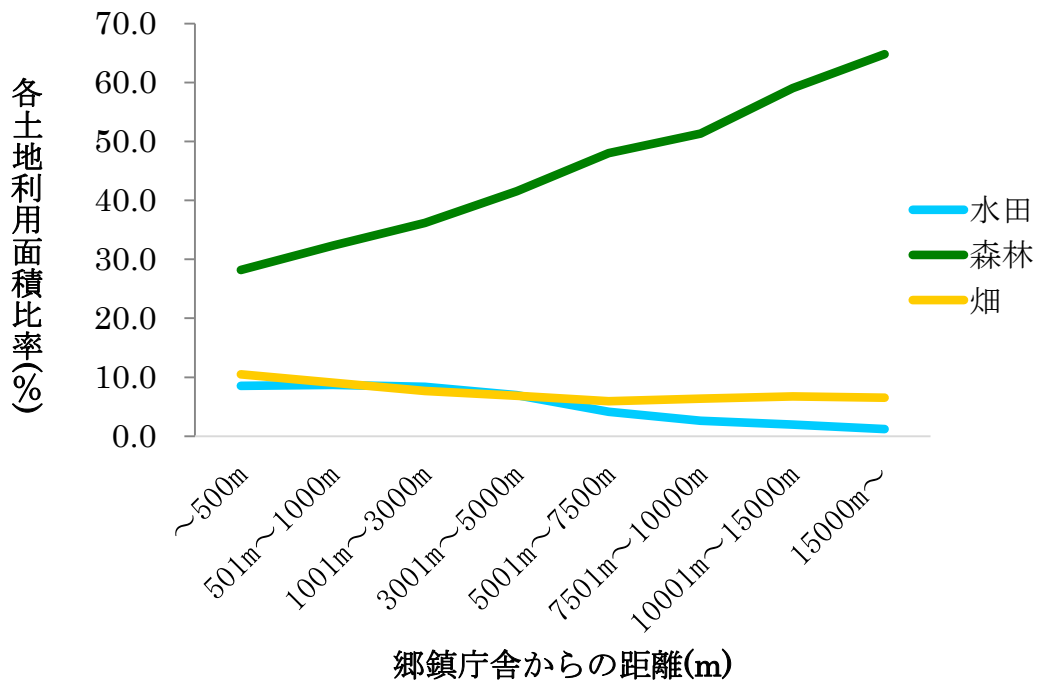


図 29 2000年の郷鎮庁舎からの距離と水田・畑・森林の土地利用面積率

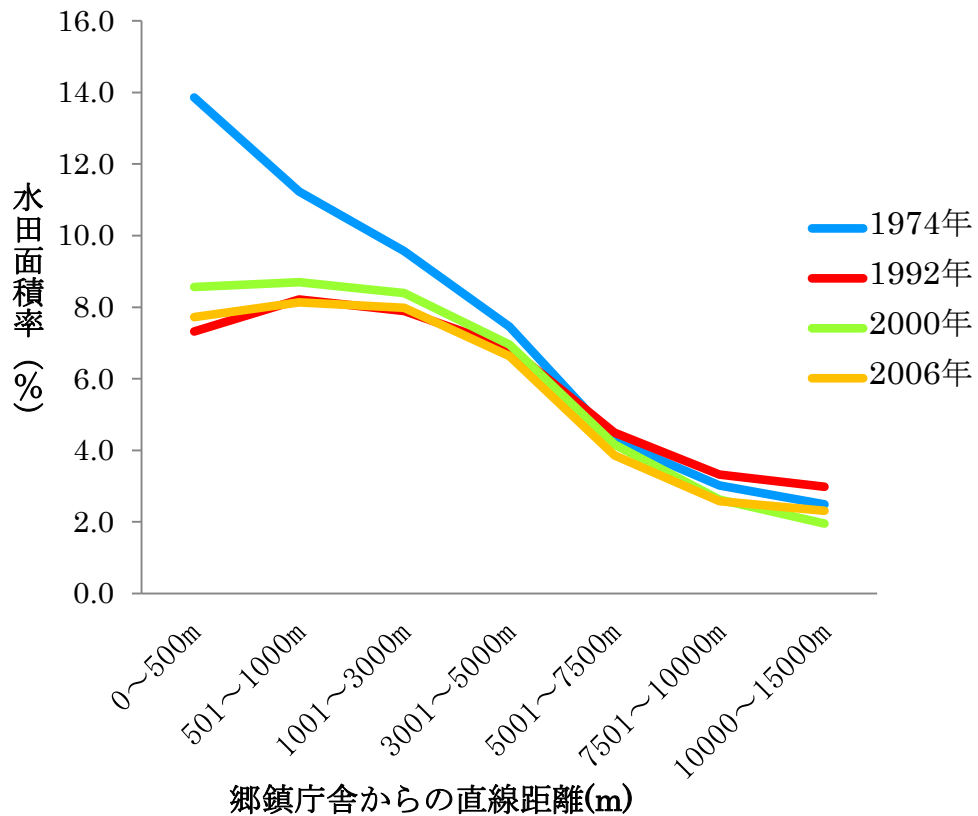


図 30 郷鎮庁舎からの距離と水田面積率(%)

出所：筆者作成

一方、1974年から2006年の4つの年次での水田面積の割合と郷鎮庁舎からの距離を図示したものが図30である。1974年では、郷鎮庁舎半径500m以内の都市の近くで最も水田が多く見られ、遠くなるにつれ面積が減少する傾向が見られた。1974年は、農産物生産・流通が自由化しておらず、半自給的な水稲生産が都市近くで見られたのではないかと考えられる。しかし、必ずしもエコシステムの面から水田の生産地の近くに郷鎮庁舎が建てられたというわけではない。当時中国全体で糧食の生産が保護・優先されていたうえ、人民公社単位で収益性の高い作物に取り組むなどの動きがあった(袁2010)。1974年においては、市場アクセスの良い土地で、水稲が経済合理的に生産されていた面もあったと考えられる。

それに対し1992年、2000年、2006年では、郷鎮半径500mで逆に水田面積の割合が低くなっている。1974年の0~500mでの水田面積率は14%近くである。それが1992年、2000年、2006年になると、距離501~1000mで水田面積率が最も高くなり、それぞれ8.21%、8.70%、8.13%となっている。それより遠方になると面積率は低下していく。特に3001~5000m、5001~7500mの辺りで急速に減少していることが分かる。その一方で、面積比率が小さいながらも半径5000~7500m以上の地帯では、1974年から2006年で水田面積はほとんど減少していない。これらの遠隔地は、半自給農業地帯であり、農産物の価格が上昇した1990年代以降も都市化したり、畑作へ作付け転換せず、結果として伝統的な水田土地利用が維持されていたと考えられる。なお、同心円の面積の違いもあり単純比較はできないが、水田面積の全体における分布の割合は、全ての年次で、3001~5000mで約30%となっており、最も多く分布している。

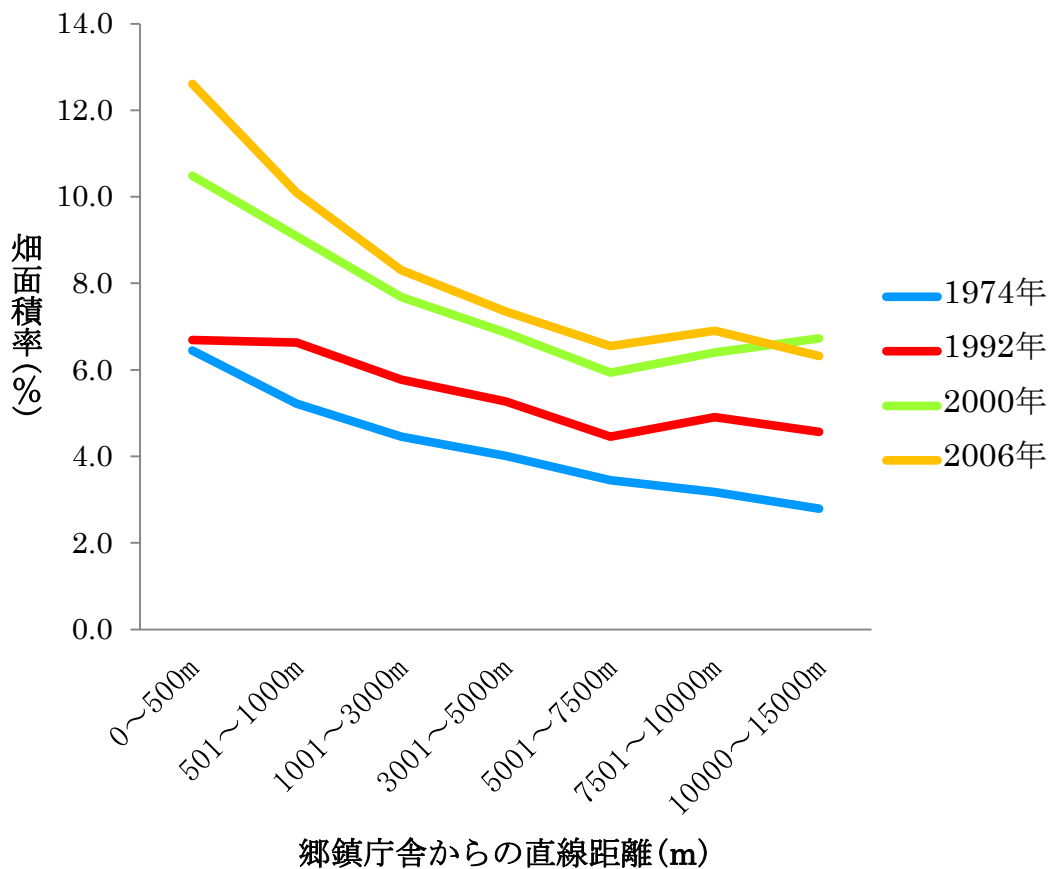


図 31 郷鎮庁舎からの距離と畑面積率(%)

出所：筆者作成

1974年から2006年における畑地面積の割合と郷鎮庁舎からの距離を図示したものが図31である。水田とは対照的に、畑は年を追うにつれて増加している。特に、都市の近く(0~500m)で面積大きく伸びている様子が分かる。年代を見ると、1992年以降の伸びが大きい。水稻や畑作物に関する生産や出荷のコストは、遠くなると増加すると考えられるから、生産条件の良い土地でより収益性の高い作物が作付けようとした結果、都市近郊での水田が減少し、畑が増加したと推測される。5000~7500mまでは、畑の面積率が都市部からの距離の増加とよって単調的に減少する。ただし、7501~10000mになると1974年以外の3つの年次で割合が高まっており、郷鎮市場から遠くの土地で茶やゴムプランテーションが栽培されることの影響が現れている。

表 20 1974年～2006年における標高と水田・畑・森林面積(ha)・割合(%)

標高(m)	1974年			1992年			
	面積率 ha	面積率 (%)	全体の 割合 (%)	面積率 ha	面積率 (%)	全体の 割合 (%)	
水田	0~500m	5491	9.81	10.01	2326	4.16	4.47
	501~1000m	13486	5.56	24.60	11163	4.61	21.44
	1001~1500m	25777	7.07	47.01	26061	7.15	50.05
	1501~2000m	9745	2.98	17.77	12122	3.71	23.28
	2000m~	301	0.28	0.55	380	0.36	0.73
			100.00			100.00	
畑	0~500m	5107	9.13	13.29	6650	11.89	12.90
	501~1000m	13594	5.61	35.39	19180	7.91	37.20
	1001~1500m	12500	3.43	32.54	19502	5.35	37.82
	1501~2000m	6247	1.91	16.26	5864	1.8	11.37
	2000m~	914	0.86	2.38	345	0.33	0.67
			100.00			100.00	
森林	0~500m	6412	11.46	1.24	10618	18.98	2.13
	501~1000m	64145	26.46	12.44	91409	37.71	18.36
	1001~1500m	157364	43.15	30.53	152732	41.88	30.67
	1501~2000m	205630	62.98	39.89	171671	52.58	34.47
	2000m~	80946	76.27	15.70	70935	66.84	14.25
			100.00			100.00	
標高(m)	2000年			2006年			
	面積率 ha	面積率 (%)	全体の 割合 (%)	面積率 ha	面積率 (%)	全体の 割合 (%)	
水田	0~500m	1284	2.30	2.62	1534	2.74	3.21
	501~1000m	8532	3.52	17.40	8488	3.50	17.78
	1001~1500m	26731	7.33	54.53	25185	6.91	52.74
	1501~2000m	12406	3.80	25.31	12231	3.75	25.61
	2000m~	60	0.06	0.12	306	0.29	0.64
			100.00			100.00	
畑	0~500m	10589	18.93	14.85	7276	13.01	9.60
	501~1000m	30147	12.44	42.29	27076	11.17	35.71
	1001~1500m	24180	6.63	33.92	27834	7.63	36.71
	1501~2000m	6227	1.91	8.74	12297	3.77	16.22
	2000m~	118	0.11	0.17	1312	1.24	1.73
			100.00			100.00	
森林	0~500m	11977	21.41	2.28	15922	28.46	2.90
	501~1000m	84957	35.05	16.15	88652	36.58	16.16
	1001~1500m	149710	41.05	28.46	158917	43.57	28.98
	1501~2000m	190492	58.35	36.21	196664	60.24	35.86
	2000m~	88436	83.33	16.81	87840	82.77	16.02
			100.00			100.00	

出所：筆者作成

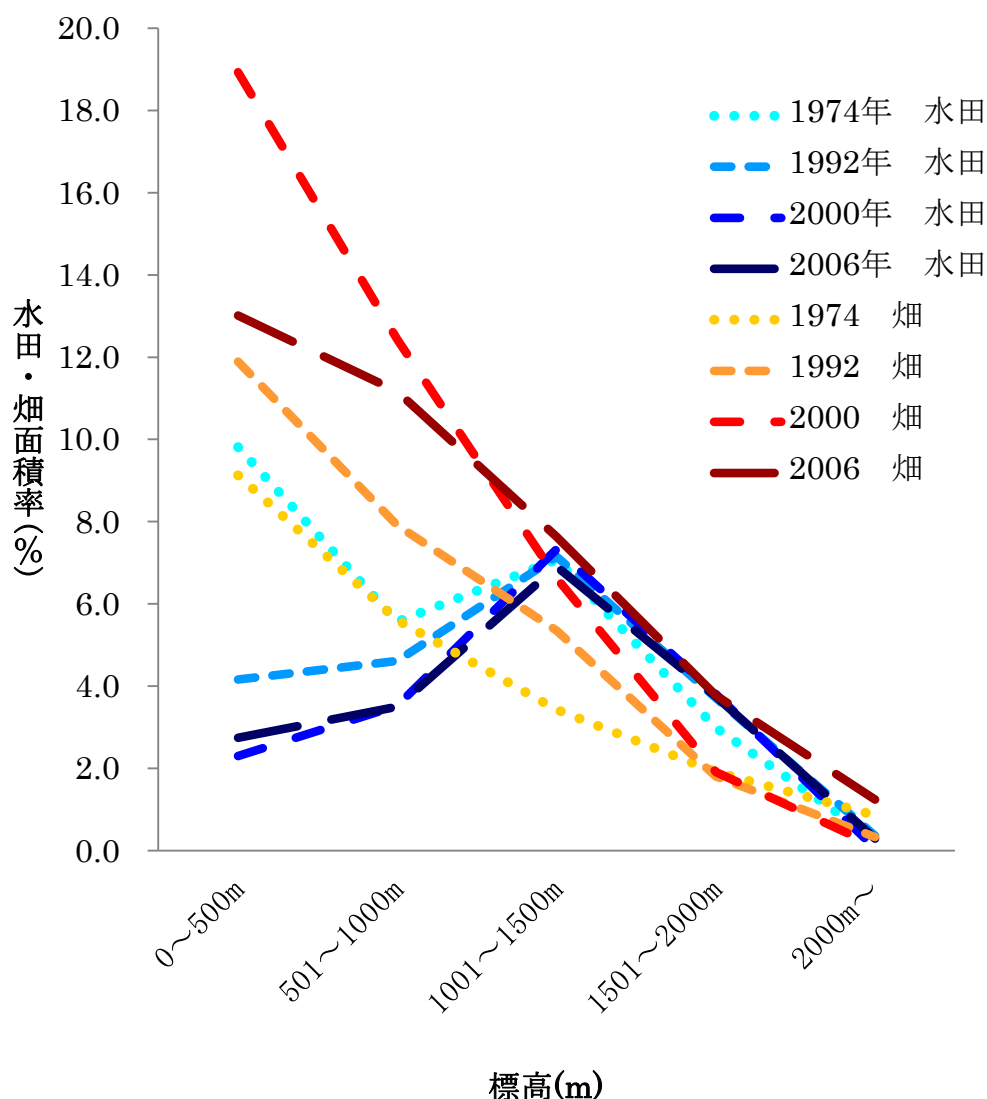


図 32 標高ごとの水田・畑面積率(%)

出所：筆者作成

生物物理的な観点から、年次ごとに標高帯別の水田・畑地・森林の面積率を示したものが表 20 であり、その水田と畑地の変遷を図示したものが図 32 である。

水田については、1974 年では比較的低高度地帯にも水田が存在していて、さらに標高が高くなると水田面積率が減少していた。ところが 1992 年以降では低高度地帯の水田が大幅に減少してしまい、1001~1500m がピークとなるような分布となる。土地利用の比率として見た時、その標高帯で最も多く存在している。1001~1500m での水田面積率は 1974 年、1992 年、2000 年、2006 年でそれぞれ 7.07%、7.15%、7.33%、6.91%であり、2000 年や 2006 年だと他の標高帯の 2 倍近く高い。水田面積全体に対する割合を見ても、この標高帯で大きく

なり、それぞれ 47.01%、50.05%、54.53%、52.74%とほぼ過半を占めている。

畑については、標高に反比例して減少する傾向がある。年次を追うにつれその傾向は強まるものの、基本的なパターンは変わらない。農家は、標高 0~1000m 辺りの地域でより収益性の高い畑作を行い、標高 1000~2000m 辺りになると水稲の作付けを行うと考えられる。現地での聞き取り調査によれば、水稲は最高で標高 1700m 程度まで生産でき、他作物に比べ標高制約が小さい作物だと言う。

標高がそれ以上高くなると水稲も生産できなくなり、農業はほとんど見られなくなる。森林面積の割合は、標高が高くなるほどその割合が増加する。2000 年、2006 年の標高 2000m 以上の森林割合は 80%を超えている。

5) 社会経済データとの結合と統計分析

中国人口センサスに基づく 2000 年の人口統計の地図データを、China Data Center¹⁶²から取得し、作成した土地利用分類図に結合した(図 33)。表 21 はリモートセンシングで作成した 2000 年における主な土地利用ごとに土地セルをランダム 5000 点抽出し¹⁶³、その社会経済データや地理的データの統計量¹⁶⁴を示したものである¹⁶⁵。「人口密度」、「15~59 歳比率」、「農村戸籍者比率」、「就学比率」、「民族比率」、「住居の材質」及び郷鎮庁舎の地理座標は中国データセンターの 2000 年のデータを使用した。人口統計は、対象の土地セルが位置する郷鎮の 2000 年における統計値を使用している。人口統計は郷鎮内で共通である。

他方で GIS により取得・算出した標高(図 25)、斜度(図 26)や日射量¹⁶⁶、道路¹⁶⁷からのコスト距離(図 27)のデータを、地理座標を基準に土地利用分類図と結合した。また、対象のセルに最も近い郷鎮庁舎までの距離を算出し、「郷鎮庁

¹⁶² China Data Center (<http://chinadatacenter.org>)による郷鎮単位のデータ。

¹⁶³ 第 3 章で再論するが、Nelson et al. (1999)を参考に少なくとも 200m の間隔を空けて抽出した。

¹⁶⁴ 統計値の算出に使用したサンプル数は 5000 である。しかし、元のサンプル数は水田で 54421、森林で 5844983、畑で 791885、市街地で 50700 と非常に多い。本研究では、標準誤差ではなく標準偏差に統一して統計量を記述している。

¹⁶⁵ 土地セルをランダム 5000 点抽出した際の統計値である。

¹⁶⁶ 日射量は ArcGIS の Spatial Analyst によって算出したものである。作付け種目によって生育時期に差があるため、本研究では農地の利用を考察する際にも、生育期間ではなく通年での日射量を参考値として使用している。土地セルごとに異なる天頂角、方位角、標高を用いて算出される総直達日射量、天頂角と方位角を用いて算出される散乱日射量の合計値である。詳しくは、Fu et al.(2002)を参照。

¹⁶⁷ 第 2 章、第 3 章で使用する道路データは、China Data Center (<http://chinadatacenter.org>)による 2000 年次の省道・国道のデータである。以降、本研究での「道路」は、省道・国道を指す。

舎からの距離」とした¹⁶⁸。さらに、各セルの斜度の平方根をそのセルの移動コストとし、それが最も小さくなるような経路での郷鎮庁舎までのコストの和をGIS上の呼称にならって「郷鎮庁舎からのコスト距離」としている¹⁶⁹。標高や斜度、郷鎮庁舎からの距離はセルごとに固有である。

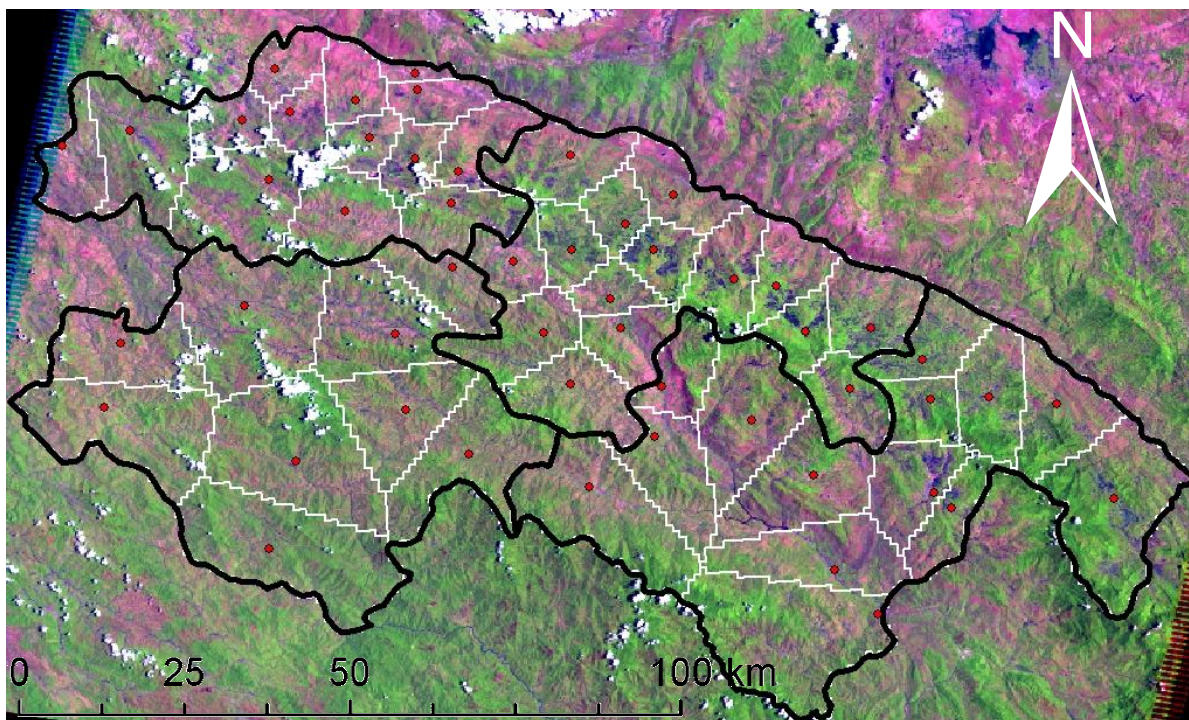


図 33 対象 4 県の衛星画像(Landsat5 2006 年 5 月 19 日)と郷鎮庁舎(赤点)・郷鎮界(白線)

出所：Landsat 衛星画像，China Data Center 郷鎮庁舎データを基に筆者作成

¹⁶⁸ 紅河県・元陽県の現地調査からは、農家は郷鎮の隔たりなく最も近い市場に出荷している。同様に、馬(2009)は元陽県の農家について、近くの市場に出荷するとしている。

¹⁶⁹ 呼称は Richard(2010)，その経済分析での利用は Nelson et al. (1997)を参照。

表 21 土地利用と社会経済統計

		市場からのアクセス			
		郷鎮庁舎からの 距離 (km)	郷鎮庁舎からの コスト距離	道路からの 距離 (km)	道路からの コスト距離
全体	平均	7.86	75.85	13.66	113.15
	標準偏差	4.46	41.02	8.92	72.20
水田	平均	5.77	56.50	11.49	92.08
	標準偏差	3.21	29.88	7.74	60.59
森林	平均	8.67	86.17	15.50	132.72
	標準偏差	4.73	43.26	9.28	74.30
畑	平均	7.07	59.03	11.48	86.62
	標準偏差	4.10	35.91	8.51	68.96
市街地	平均	8.09	59.78	11.31	78.52
	標準偏差	3.97	24.65	7.39	47.45

		地理的属性		
		標高 (m)	日射量 (kWH/m ²)	斜度 (°)
全体	平均	1346.5	699.70	22.21
	標準偏差	507.0	8.18	9.81
水田	平均	1311.9	697.71	15.68
	標準偏差	284.9	7.83	7.28
森林	平均	1519.3	700.03	23.46
	標準偏差	506.5	8.05	9.78
畑	平均	893.1	698.69	18.37
	標準偏差	372.7	8.17	9.14
市街地	平均	983.0	699.02	15.38
	標準偏差	459.9	7.15	8.48

表 21 (続き) 土地利用と社会経済統計

		2000年人口統計			
		人口密度 (人/km ²)	15~59歳比率 (%)	農村戸籍者比率 (%)	就学比率 (%)
全体	平均	105.25	65.83	95.36	63.37
	標準偏差	69.25	2.33	5.98	13.21
水田	平均	148.49	65.83	95.10	63.08
	標準偏差	88.85	2.24	7.48	13.46
森林	平均	93.78	65.88	95.62	63.96
	標準偏差	65.58	2.40	4.92	13.42
畑	平均	106.14	65.57	94.80	62.22
	標準偏差	60.35	2.40	5.85	12.90
市街地	平均	155.50	64.94	93.48	58.75
	標準偏差	82.00	2.14	7.14	13.58
		コンクリート製 住居比率 (%)	コンクリート・煉瓦・ 木以外の住居比率 (%)		
全体	平均	6.45	52.79		
	標準偏差	7.12	25.15		
水田	平均	6.07	57.57		
	標準偏差	8.40	25.10		
森林	平均	6.32	52.77		
	標準偏差	6.60	24.36		
畑	平均	7.27	47.86		
	標準偏差	7.02	24.26		
市街地	平均	7.47	49.85		
	標準偏差	8.39	24.48		
		漢民族比率 (%)	ハニ族比率 (%)	イ族比率 (%)	
全体	平均	7.31	59.49	11.36	
	標準偏差	10.61	30.74	11.40	
水田	平均	7.04	66.78	14.09	
	標準偏差	10.04	25.90	13.25	
森林	平均	6.83	61.06	9.90	
	標準偏差	10.49	30.55	10.57	
畑	平均	7.79	50.54	13.54	
	標準偏差	10.16	31.53	12.77	
市街地	平均	10.14	41.12	16.22	
	標準偏差	10.36	28.44	12.59	

註：1) 「コスト距離」は、セルごとの斜度の平方根と距離の積であり、移動に掛かるコストを示す GIS 指標である¹⁷⁰。

2) 表中「道路」は国道・省道を表す。

¹⁷⁰ Ray(2005), Richard(2010)等を参照。

表21から、水田は、地理的には郷鎮庁舎からの距離が近く、斜度の小さい土地で多くなっている。記述統計から見ると、平均すると畑地より郷鎮庁舎からの距離は近い。また、畑や市街地の標高と比較すると、1311mと水田の平均標高が高いことも示されている。

社会経済変数をみると、水田の多い郷鎮では、人口密度や農業戸籍者率が高く、ハニ族比率が高いという特徴があった。人口密度は148人/km²と、平均の1.5倍近い値になっている。主食農産物である水稻の食料需要と水田面積に関係あると考えられる¹⁷¹。ハニ族比率は特に市街地での平均と差が大きく、15%以上比率が異なっている。コンクリート製住居を資産・所得の代理として考えると、資産が多い地域では、水田が少ない傾向にあることが推測される。

森林は、郷鎮庁舎からの距離が遠い、標高が高い、斜度が大きいなど、市場アクセスが悪く、生物物理条件が悪い土地である。粗放的な土地利用であることが改めて確認できた。

畑は 893m と、平均の標高が低いという特徴がある。低緯度・湿潤な対象地域では標高が作付け可能な農産物の種類を決める要因となっており、低地で畑に利潤の大きい商品作物の作付け・収穫が可能であると考えられる。また、チューネンモデル的観点からすれば、市場アクセスの良い土地では、農産物生産費用や出荷費用が低下し、販売物価格は増大する。標高にも左右されるが、郷鎮庁舎からの距離の近い土地はより畑に転換されやすいことが考えられる。表21において郷鎮庁舎からの距離は全体から見ても小さくないが、斜度を加味したコスト距離を見てみると、平均より大きく低い。また、道路からのコスト距離は市街地に次いで水田よりも低い値になっている。省道・国道に近く遠隔地に出荷しやすい土地で畑が多いことが伺える。

また、畑の多い郷鎮ではコンクリート住居の比率が高かった。資産や所得の高さとの相関がある可能性がある。実際に現地調査では、資産が多く生活水準が高い集落では、ゴム園のプランテーションなどに取り組み例も見られる。ここでは、労働者を雇い周りの地域から出稼ぎ者が来ていることが確認されている。その他、漢民族は市街地に居住している比率が高いことが明らかになった。

¹⁷¹ Nelson et al. (1997)を参照。

補論 1 本研究で開発した土地利用判別アルゴリズム

リモートセンシングの技術発達に対応した識別アルゴリズムの発展も課題である¹⁷²。リモートセンシングでは、光の反射波長に基づいて土地利用/土地被覆を判別するが、影と水域、水田や湿地は非常に近い波長を持っており、その正確な識別は難しい¹⁷³。また、斜度の大きな丘陵地帯では、雲がない衛星画像であっても物陰が写り込んでしまい、特定の領域での画像分類が困難となる¹⁷⁴。

雲により発生した影は多数のデータを活用して誤判読を回避することが可能であるが、棚田地帯のような、山間部では、以下に述べるように草地上の影と水田との誤識別が発生しやすい。このような土地特性は、東アジアの中山間地ではよく見られる地形である。

土地を被覆する物体の反射波長そのものが似通っている場合、従来の光学的な土地分類のみでは識別能に限界がある。また、既に開発されている修正コサイン法等による大気・地形効果補正は一定以上の太陽高度が必要といった制約条件があり、多様な衛星画像で常に利用可能な方法ではないとされる¹⁷⁵。本項では、標高データ（ここでは ASTER GDEM を使用）と衛星画像データとを併せて用いることで誤識別を補正する、新たなリモートセンシング識別手法を開発した。

第 2 章では、水田・水域・影に誤分類が見られたため、標高データ ASTER GDEM より作成した斜度データと結合させ、特に分類の誤差が大きく見られる地域で、一定以上の斜度の水田を草地として分類しなおすアルゴリズムを作成・適用した（図 34）。

これは、斜度が大きな土地で水田が過剰に分類されてしまうことを防ぐことを目的としている。影は光を一定程度吸収するために、水による光の反射波長と非常に似ている。また、斜度が大きな土地では影ができやすい。したがって傾斜面に草地がある場合、影が一定程度光を吸収しながら、草地が植物体特有の反射波長を示す。これが、水が光を吸収しながら稲が植物体の反射波長を示す水田として誤分類されるのである。そこで、補正アルゴリズムにおいて、傾斜が非常に大きく、湛水し水田として活用することが困難であると考えられる土地を、草地として分類し直す。

ここで、基準とする斜度が大きすぎる（草地への変換基準が厳しすぎる）と、

¹⁷² Baraldi et al. (2010)を参照。

¹⁷³ Okamoto et al. (1996), Ogawa(1998), Stacy et al. (2002)を参照。

¹⁷⁴ Joshi et al. (2005)を参照。

¹⁷⁵ Liang et al. (2001)を参照。

影のある「草地」を「水田」として誤識別してしまう間違いを訂正できなくなる。逆に、基準とする斜度が小さすぎる（「草地」への変換基準が易しすぎる）と、「水田」を正確に識別している土地さえも、「草地」に変換してしまう。

そこで、基準となる斜度を動かしながら、その土地利用/土地被覆分類推計結果の正解率を把握し、最適な土地利用/土地被覆補正の基準斜度を見つけだすことにした。「水田」とされたもので斜度が X° （図表での数値の幅は、30, 25, 20, 15, 10, 5, および「なし」）以上の場合に「草地」に変更するというシンプルなアルゴリズムを作成し、斜度毎の補正結果を確認したのが表 22 と図 35 である。

図 35 から、水田の識別正解率の向上は基準斜度 25° で頭打ちとなるが、基準斜度をそのまま低下させた場合、斜度 15 度以下から、草地を水田としてしまう誤識別率が飛躍的に増加することが分かる。表 21 から、対象地域では 20° の判定基準が最も正確性が高くなる。本研究では、この検討結果を踏まえて、補正を行った土地利用/土地被覆分類結果を使用している。

実際に行った土地利用/土地被覆分類のクラス分けフローチャートは本文中の図 12 である。本研究では、2 段階の教師なし分類を行った上での分類結果に対し、このアルゴリズムを適用している。修正後の土地利用/土地被覆分類は、同年の他の時期の画像解析結果と重ね、その結果を比べている。概ね斜度が高く「水田」と判別される地点は決まっており、季節によるアルゴリズムの正解率への影響に差は大きくないと考えられる。

以上、標高データを用いて、一定以上の斜度がある土地での「水田」を「草地」と変換することによって、土地利用/土地被覆の推計に改善が見られた。このアルゴリズムを用いることにより、傾斜により影が発生し「水田」と誤識別されても「草地」へ補正し、土地利用/土地被覆分類の困難な丘陵地帯においてより正確な分類をすることが可能である。特に、本研究で対象とした雲南省元陽県のような急傾斜の棚田地帯においては、この土地利用/土地被覆分類の補正手法は非常に簡便かつ有効である。

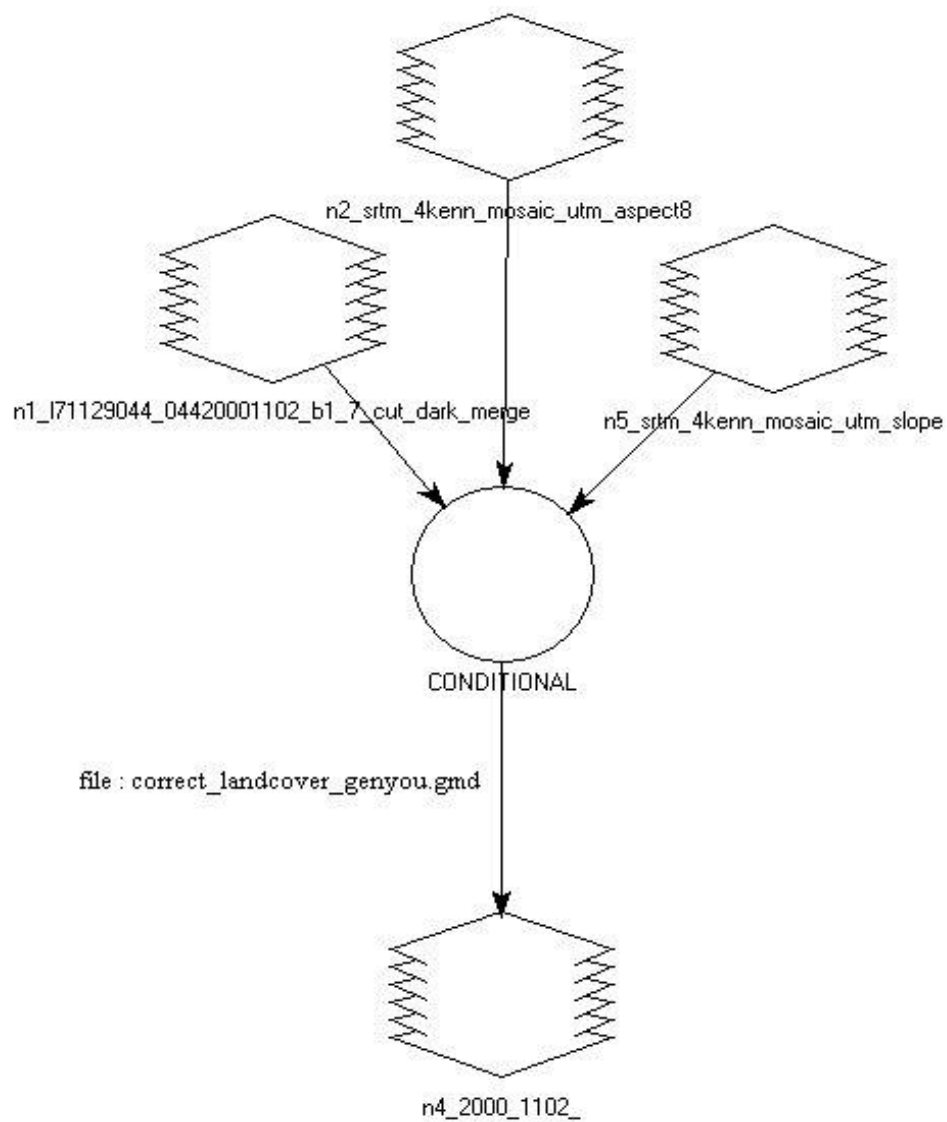


図 34 斜度による土地利用/土地被覆分類修正モデル

表 22 変換モデルの基準値と識別正解率

変換基準斜度(°以上)	水田の識別正解率(°)	草地の水田への誤識別率(°)
なし	72.2	2.0
30	76.2	2.0
25	80.3	2.7
20	82.0	3.4
15	82.5	12.3
10	83.1	26.4
5	83.1	41.5

出所：筆者作成

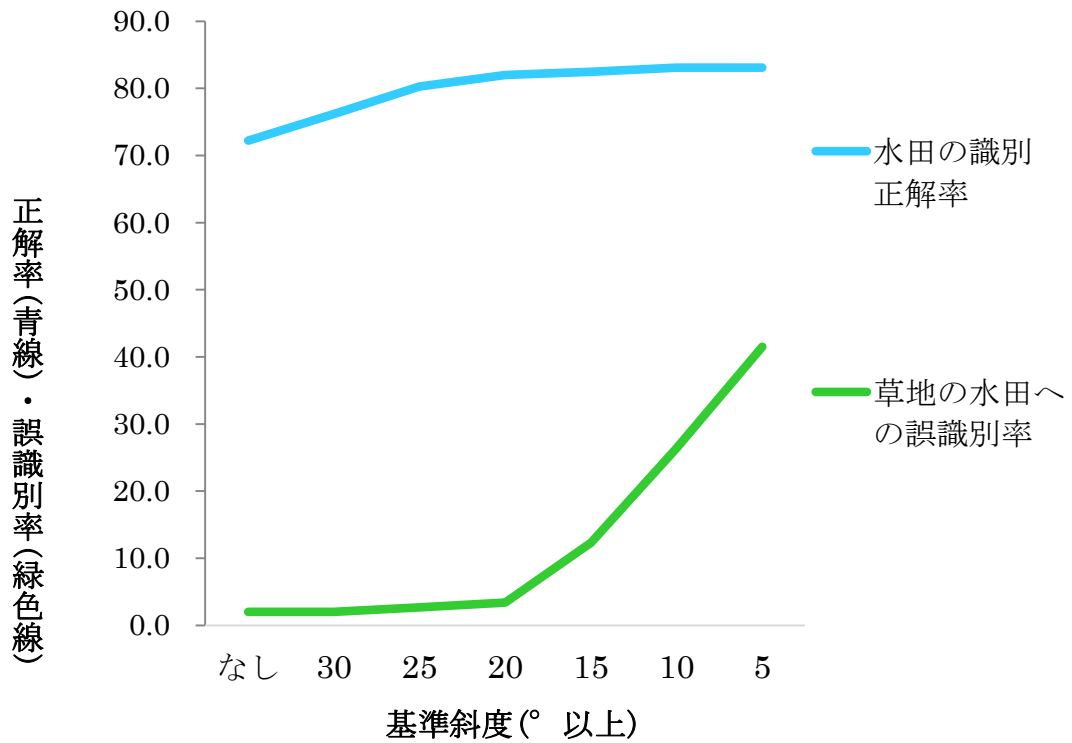


図 35 変換モデルの基準値と識別正解率の変化

第3章 広域土地利用に関する応用空間経済分析—中国雲南省棚田地帯を事例に—

第1節 土地利用選択モデル

1) 低開発地域における土地利用の検討

リモートセンシングを活用し、低開発地域における土地利用変化の計量経済分析を行ったいくつかの研究から、農地利用について以下のように特徴を挙げられる。

Chomitz et al. (1996)は、道路や市場との距離による土地利用の違いを考察し、市場からの距離が生産費・出荷価格を構成しているという仮定の下、市場から遠い土地ほど近代的な農法による畑地が減少することを明らかにした。同様の研究に位置づけられるMunroe et al. (2002)は、標高の低い地域や市場に近い地域で商品作物の作付け確率が高くなることを示した。Muller et al. (2002)は、開発途上地域における農地の増減を検討し、人口の増加や交通の発達により作付けの限界地が拡大すること、耕地全体では面積は増大することを明らかにした。ただし、Chomitz et al. (1996)が検討したように、主食用作物生産農地ののみを見た場合、経済発展に伴う商品作物の作付け拡大・市街地拡大により、その面積が減少する場合がある。実際に中国でも、長江流域において、水田の減少という形での主食用作物生産農地の減少が見られていることをLong et al. (2007)が検討している。

検討結果を踏まえながら、本研究の対象地域における土地利用を振り返ってみると、以下のような特徴が指摘できる。まず、主食用農産物としての水田における米の生産は、比較的標高が高く必ずしも条件が良くない土地で行われやすいことである。既存研究では、経済発展に伴う畑の増加が指摘された。植物の生育に適した土地、市場に近く出荷コストが低いならば、鮮度の劣化が激しい作物でも栽培が可能となり、高価格で出荷できる畑での商品作物の生産を増やしていくと予想される。

現地での聞き取りによれば、米の出荷価格は低く¹⁷⁶、収穫可能な土地ならば、より収益の高いバナナやサトウキビ、茶等を作付けしたいという意見が多かった。1985年以降の流通農産物自由化の影響もあり、低標高かつ市場アクセスが良い、生産コストや出荷に掛かるコストが低いと考えられる土地では、より労働・資本集約的な畑作地が増加していると考えられる¹⁷⁷。また、標高が高く市

¹⁷⁶ 元陽県での聞き取りによると 1kg 当たり平均 3 元程度で取引される。

¹⁷⁷ 全国農産品費用収益資料(中国開発計画委員会 2001)の 2000 年農業生産費調査によると、

場アクセスが悪い農業生産にとっては極めて条件の悪い地域では、森林のような粗放的土地利用の増大が想定される。

これらの観察結果を考慮しながら、本研究では Chomitz et al.(1996)や Nelson et al. (1997)を参考に、チューネンモデルをベースとした土地利用選択モデルを検討する。実際の土地利用の観察から、1985年の農産物市場流通の自由化以降、畑地は市場アクセスの良い地域でより多く増加していることも確認される。また、リモートセンシングによる土地利用/土地被覆分類の分布では、市場アクセスの良い土地の森林や水田が、畑に変換されているケースも多数見られている。これらの理由から、本研究での土地利用選択モデルは、チューネンモデルを背景とした Chomitz(1996)を改良した土地利用推計モデルの適用が適切であると考えた。

その際、当該地域における伝統的ハニ族やイ族といった特定の少数民族が多いことにも留意したい。少数民族によっては、現地での生活条件への配慮や伝統的農業生産の慣習などから、伝統的農法の維持や森林資源の保全に取り組んでいる可能性がある。現地での聞き取りからは、彼らに自然保護や地域資源の共同利用・保全を遵守しようとする強い意識が確認されている。

2) 土地利用選択モデル

チューネンモデル(Von Thunen 1966)では、消費地からの距離によって、生産物の販売価格や生産費が異なり、土地収益が(レント)変化することを想定している。例えば、野菜は穀物よりも高価格で販売できるが、消費地まで運搬する際に劣化しやすいため生産・出荷にコストが掛かる。その生産地点では最大のレントが得られる作物を栽培することが合理的であるため、消費地である都市の近くでは高価で傷みやすい野菜が作付けされて、安価だが輸送費用の掛からない穀物はその外縁部で生産されるであろう。このような土地利用の利潤最大化行動を(1)~(8)の式によって説明する。

1 投入財 1 生産物の生産を想定する。郷鎮 h における i 地点の土地利用(作物)タイプ k の場合、レント R_{hik} は、生産物価格 P_{hik} 、生産量 Q_{hik} 、投入財単価 W_{hik} 、投入量 X_{hik} とすると、(1)式のように表現される。

$$R_{hik} = P_{hik}Q_{hik} - W_{hik}X_{hik} \quad (1)$$

10a 当たりの水稲生産による総収入は、全国平均 710.9 元、茶が 1856.3 元、雲南省の北隣の四川省で水稲が 708.5 元、茶が 1805 元、雲南省は水稲のデータが無く、茶は 708.8 元である。全国平均で茶の総収入の方が高くなっている。また、純収入は全国平均の水稲が 174.9 元、茶が 438.6 元、四川省で水稲 100.0 元、茶が 999.2 元、雲南省で茶が 203.6 元である。

ここで、生産物価格 P_{hik} と生産・出荷コスト W_{hik} を、距離 D_i と郷鎮の市場属性 T_h を用いて(2)式のように表す。

$$P_{hik} = \exp(\gamma_{0k} + \gamma_{1k}D_i + \gamma_{2k}T_h), \quad W_{hik} = \exp(\sigma_{0k} + \sigma_{1k}D_i + \sigma_{2k}T_h),$$

$$\gamma_{0k} < 0, \sigma_{0k} > 0 \quad (2)$$

γ_{ik}, σ_{ik} : 土地利用ごとのパラメータ D_i : 都市(市場)からの距離

(2)式において、 $\gamma_{1k} < 0$ ならば輸送による生産物の劣化により生産者が受け取り生産物価格は低下する、 $\sigma_{1k} > 0$ ならば資材の輸送費が増加するなどして投入財の価格が上昇すると想定していることになる。元陽県と紅河県の聞き取り調査では、農産物の買い取り商人等がおり、市場から距離が遠い地域では生産物価格は低下する。投入財コストについては、例えば遠隔地の方が労働賃金が低い場合もあるが、化学肥料は市場で購入する方が安く¹⁷⁸、市場から遠い場合に割高となることが知られている。 T_h は価格や労賃に関わる郷鎮市場の変数(人口密度など)である。

次に、 S を土地の生産条件、 s_i をそれぞれの土地セル固有の属性(標高、斜度...)と定め、 V を郷鎮の特徴、 v_h をそれぞれの郷鎮の社会経済特性による生産条件(農村戸籍、民族...)とすると、生産関数はコブダグラス型を想定して

$$Q_{hik} = S_{hik}V_{hk}X_{hik}^{\beta_k}, \quad (0 < \beta_k < 1),$$

$$(S_{hik} = \lambda_{0k}s_{1i}^{\lambda_{1k}}s_{2i}^{\lambda_{2k}}\dots), (V_{hk} = \mu_{0k}v_{1h}^{\mu_{1k}}v_{2h}^{\mu_{2k}}\dots) \quad (3)$$

とかける。

また、 X の派生需要関数は以下の通り。

$$X_{hik} = \left[\frac{\beta_k S_{hik} V_{hk} P_{hik}}{W_{hik}} \right]^{1/(1-\beta_k)} \quad (4)$$

X_{hik} ((4)式)と Q_{hik} ((3)式)を(1)式に代入しレントを(5)式のように表す。

$$R_{hik} = W_{hik}^{\frac{\beta_k}{\beta_k-1}} [P_{hik} S_{hik} V_{hk} \beta_k]^{1-\beta_k} (1-\beta_k) / \beta_k \quad (5)$$

(4)式、(5)式から、生産物価格の上昇がレントを上げ、投入の強度を増やし、投入財価格の上昇が投入の強度を減らすことを示す。

P_{hik}, W_{hik} ((2)式)を(5)式を代入して整理し、両辺の対数を取った上で、誤差項 u_{hik} を含めると、(6)式のようになる。

¹⁷⁸ 馬(2009)を参照。

$$\begin{aligned} \ln R_{hik} &= \alpha_{0k} + \alpha_{1k} D_i + \alpha_{2k} T_h + \alpha_{s_{1k}} \ln(s_{1i}) \cdots + \alpha_{v_{1k}} \ln(v_{1i}) \cdots + u_{hik} \\ &= \mathbf{Z} \mathbf{A}_k + u_{hik} \quad (6) \end{aligned}$$

$$\alpha_{1k} = \frac{\gamma_{1k} - \sigma_{1k} \beta_k}{1 - \beta_k}, \alpha_{2k} = \frac{\gamma_{2k} - \sigma_{2k} \beta_k}{1 - \beta_k}, \alpha_{3k} = \frac{\lambda_{1k}}{1 - \beta_k}, \alpha_{4k} = \frac{\mu_{1k}}{1 - \beta_k}$$

u : 誤差項 Z : 独立変数のベクトル A : 誘導形のパラメータ

u_{hik} は誤差項, A は独立変数のパラメータを表す. (6)式において, 距離 D の係数 α_{1k} が負であることが予想される. 輸送費用が高いときほど α_{1k} は大きく負の値を示すと考えられる((2), (3)式の仮定($\gamma_{1k} < 0, \sigma_{1k} > 0, 0 < \beta^k < 1$) の下で $\alpha_{0k}, \alpha_{1k} < 0, \alpha_{2k}, \dots > 0$ である).

このモデルでは, (7)式のように最も高い地代となる土地利用に決まるとする. h 郷鎮での i 地点で最適な土地利用 k は多項ロジットモデル(8)式で選択される.

$$R_{hik} > R_{hij} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &(\text{for all uses } j|k) \text{ prob}(i \text{ in township } h \text{ devoted to } k) \\ &= \exp(\mathbf{Z} \mathbf{A}_k) / \sum_j \exp(\mathbf{Z} \mathbf{A}_j) \quad (8) \end{aligned}$$

このモデルをもとに, 2000年での土地利用セルを被説明変数の単位とし, 水田・森林・畑・市街地という4つの土地利用と, その他の土地利用(草地・荒地等)を合わせた5つの選択肢について, 多項ロジット推計を行った. 注目した4つの土地利用は, 主食用農産物生産のための水田, 未耕地もしくは自然資源としての森林, 野菜などの商品作物を生産する畑地, 住民の居住区としての市街地である. また, 使用した変数は以下の通りである.

郷鎮庁舎・道路それぞれからの距離・コスト距離という複数の距離変数を都市(市場)からの距離 D として用意した¹⁷⁹¹⁸⁰.

標高や斜度, 日射量を作物の生物物理的な生産条件 S とした. 本研究では, 谷ごとの相対的位置関係ではなく, 対象地域での絶対的な海拔によって土地利

¹⁷⁹ 郷鎮庁舎内ではなく, 地域全ての郷鎮で最も距離の近い郷鎮を選択する想定をしている. 郷鎮は必ずしも谷ごとに分けられ, 道路が整備されているわけではなく, 郷鎮内の市場アクセスの有利さよりも, 郷鎮を分けないことによって得られる最寄りの市場アクセスの有利さの方が影響が大きいと考えた.

¹⁸⁰ 対象地は非常に標高差が激しく山岳地帯も含むため, 移動に高低差が重大な影響を及ぼすと考えられる. Nelson et al. (1997)を参考につつ, 市場からの距離を測る指標には距離だけではなく, コスト距離も使用した.

用が影響を受けると考え、標高の変数を用いて、対象地域の標高帯による土地利用の違いを分析する¹⁸¹。

生産物価格と生産・出荷コストに関する郷鎮の市場属性 T には、価格に関わる郷鎮の主食穀物需要を捉える変数として、人口密度(その土地に何人の人がいるか)を用いた。また、経済発展や都市化が進んでいる郷鎮を捉える変数としてコンクリート製の住居やその他の住居の比率¹⁸²、就労・兼業機会に影響する変数として就学比率を用いた。

生産条件に関わる郷鎮の特徴 V には、農村戸籍郷鎮ダミーとハニ族郷鎮ダミーを用いた。ここで、農村戸籍者郷鎮ダミーとは農村戸籍者が、90%以上を占める農村中心の郷鎮ダミーである¹⁸³。8割の郷鎮の農村戸籍者比率は90%以上であり、一部の都市住民が多い郷鎮(主に鎮)と農村戸籍者が大多数を占める郷鎮とを区別するために用いている。ハニ族郷鎮ダミーは、ハニ族比率が80%以上の郷鎮ダミーである¹⁸⁴。ハニ族は長年に渡って水田・棚田を保持し、棚田での生産技術の高さとともに、文化的基盤を持つ少数民族であるとされる¹⁸⁵。文化的な背景の他、ハニ族の村では棚田のための水路が整備され、水田生産の技術力も高い可能性がある。また県ごとの作目などの違いを県ダミーでコントロールし、推計を行った。

土地利用における計量分析では、空間的に近いサンプルの誤差項が空間的自己相関し、推計が一致性を持たなくなる可能性がある。そこで Staal(2002)を参考に、全1207万1422点の土地セルから互いに少なくとも200mの間隔を持った土地セルをランダム5000点抽出し、空間的に近い土地を避けることでコントロールした。また、多項プロビット推計も行い、結果を比較した¹⁸⁶。

第2節 政策の変化と農地・森林面積の変化

181 対象地では低標高から熱帯季節林、照葉樹林、雲霧林と分布する(百瀬 2003)。Yu(2012)における同地域の土地被覆の研究等では、標高帯が大きな要因とされている。

182 2000年時点での住居の材質は2000年以前に決められており、2000年の土地利用決定に対する内生性は無いと想定している。

183 農村戸籍者比率には、90%前後に全く分布が見られないの分布の谷があり、90%を基準とした。

184 ハニ族郷鎮ダミーは、農村戸籍郷鎮ダミーと同様に変数の分布で区切っている。全体の4割程度の郷鎮がこれにあたる。

185 Zheng(2005)、黄(2011b)を参照。

186 多項ロジット推計は選択肢間での均一分散が仮定されるが、その仮定が満たされない疑いがある。均一分散の仮定を必要としない多項プロビット推計も合わせて行い比較したところ、本文中で言及している変数の有意性について同様の結果となっている。

1) 多項ロジット分析

推計結果は表23～表25に示した。まず、表23の推計結果1では、距離をそのまま郷鎮庁舎や道路へのアクセス指標として使用し、表24の推計結果2では、斜度の平方根を移動のコストとした「コスト距離」を郷鎮庁舎や道路へのアクセス指標として使用した。対数尤度(log likelihood)と赤池情報量規準(AIC)¹⁸⁷の値から、コスト距離を用いた推計結果2の方がモデルがより適合していると考えられる。その推計結果2については、変数の平均値における限界効果も併せて載せた。以下では、表25の「多項ロジットモデル推計結果2の限界効果」における推計結果を中心に結果を検討する。

まず、郷鎮庁舎からのコスト距離は、水田や畑の選択に負の影響を与え、森林に正の影響を与えた。したがって都市から近い地域の方が水田や畑として土地利用される確率が高いことになる。一方で、草地や荒地を含んだ「その他」の土地利用が都市に近い地域で最も多く選択される結果となっている。その他の土地利用である草地や荒地や水域が、一部集落や工場、建設現場、河川なども含むことから、都市に近いところでこのような土地利用種が多くなった可能性がある。水田・畑・森林・市街地・その他という区分は、対象地域において耕地や自然資源に関わる土地利用を細かく分けて分析する目的によるものであったが、「その他」の土地利用に区分として曖昧さが発生するという推計上の課題も残った。

国道・省道からのコスト距離は、水田の選択確率に有意な影響を与えなかったが、森林で正に、畑やその他の土地利用に負の影響を与えている。主要道路との距離は遠隔地も含めて市場へのアクセス指標だと想定している。価格が高く輸送によって劣化しやすい畑作物は、道路から近く、市場アクセスに優れた土地で生産されていると考えられる。

地理的な変数を見ると、斜度は水田と畑に対して有意に負の影響を与え、標高は畑に対して最も強く負の影響を与えた。中国の南部に位置し、雨が多く急峻な対象地域において、標高は農産物生産を左右する最も大きな環境要因である。このことから、標高が低く農産物生産条件の良い土地では、畑作が選択されると考えられる。

人口密度の高い地域では、水田土地利用が増加した。これは、人口密度の高

187

AIC =

$-2\log(\text{maximum likelihood}) +$

$2(\text{number of independently adjusted parameters within the model})$

で定義される平均対数尤度の不偏推定量を $-2N(\text{number of sample})$ 倍したモデル選択規準である(Akaike 1974)。本研究では AIC をモデルの評価規準として利用する。

い郷鎮の市場では地域の主食食料需要を通じて水稻の価格が高く、水稻生産による水田の地代が上昇したためであると考えられる。農村戸籍郷鎮ダミーは、水田の増加にのみ有意に影響した。住民の多くが農業に従事している郷鎮では、半自給的作物である水稻の生産が行われていることが分かる。

コンクリート製の近代的な住居が多い地域では有意度10%で水田の選択確率に正の影響を示すが、これは、水田が都市部に比較的多く分布していることと関係があると考えられる。逆に、コンクリート・煉瓦・木のいずれでもない土などの伝統的な住居が多く比較的貧しいと考えられる郷鎮では、未耕地の森林が多く残されている。

ハニ族郷鎮ダミーを民族変数の代表としているが、水田・森林に正の影響、畑や市街地やその他の土地利用に負の影響を与えている。特に表24では水田や森林への影響は顕著である。Zheng(2005)はハニ族の自然信仰と伝統的な棚田農業を指摘していたが、この結果から統計的に有意な水田と森林の選択確率の上昇が見られた。

表 23 多項ロジットモデル推計結果 1 (距離を使用)

	ランダムポイント5000抽出			
	水田	森林	畑	市街地
郷鎮庁舎からの 直線距離(km)	-0.0770***	0.0599***	-0.0231	0.123**
(標準誤差)	(0.0247)	(0.0084)	(0.0179)	(0.0592)
道路からの 直線距離(km)	0.000248	0.000272	0.000300	0.000335
	(0.0020)	(0.0042)	(0.002)	(0.001)
標高(m)	0.000241	0.000280***	-0.000113	-0.00105**
	(0.0002)	(0.0001)	(0.0001)	(0.0005)
斜度(°)	-0.100***	0.0156***	-0.0655***	-0.0822***
	(0.0103)	(0.0037)	(0.0084)	(0.0292)
日射量(kWH/m ²)	-3.88e-06***	8.75e-07**	-5.19e-06***	-1.34E-06
	(0.0000)	(0.0000)	(0.0000)	(0.0000)
人口密度(人/km ²)	0.00458***	-0.00255***	-0.000859	0.00545
	(0.0013)	(0.0007)	(0.0013)	(0.0036)
農村戸籍郷鎮ダミー	0.806*	-0.349**	-0.379	0.0603
	(0.4420)	(0.1450)	(0.2810)	(1.1390)
就学比率(%)	0.00332	0.00126	-0.00236	-0.0129
	(0.0060)	(0.0025)	(0.0051)	(0.0181)
コンクリート製 住居比率(%)	0.00216	-0.00308***	-0.00234	-0.000446
	(0.0018)	(0.0008)	(0.0016)	(0.0051)
コンクリート・煉瓦・ 木以外の住居比率(%)	0.000927	0.000421	-0.000851	-0.00145
	(0.0008)	(0.0003)	(0.0007)	(0.0025)
ハニ族郷鎮ダミー	0.474**	0.418***	-0.132	-0.318
	(0.200)	(0.090)	(0.195)	(0.717)
紅河県ダミー	-0.393*	-0.641***	-0.139	0.24
	(0.229)	(0.114)	(0.230)	(0.621)
金平県ダミー	-0.321	0.179	0.215	-0.496
	(0.263)	(0.109)	(0.219)	(0.748)
緑春県ダミー	0.182	-0.162	-0.0844	-1.897
	(0.298)	(0.122)	(0.264)	(1.228)
定数項	0.685	-1.243***	4.248***	-0.747
	(1.067)	(0.401)	(0.825)	(2.795)
サンプル数	5,000			
Log likelihood	-4863.77			
AIC	9839.73			
BIC	10204.13			

表 24 多項ロジットモデル推計結果 2 (コスト距離を使用)

	ランダムポイント5000抽出			
	水田	森林	畑	市街地
郷鎮庁舎からの コスト距離 (標準誤差)	-6.81e-06*** (0.0000)	7.15e-06*** (0.0000)	-6.10e-06*** (0.0000)	2.5E-06 (0.0000)
道路からの コスト距離	2.68e-06* (0.0000)	4.96e-06*** (0.0000)	-0.00000127 (0.0000)	1.68E-07 (0.0000)
標高(m)	0.000208 (0.0002)	0.000314*** (0.0001)	-0.00014 (0.0001)	-0.00102* (0.0005)
斜度(°)	-0.0984*** (0.0104)	0.00958** (0.0038)	-0.0590*** (0.0085)	-0.0846*** (0.0300)
日射量(kWH/m ²)	-3.94e-06*** (0.0000)	5.69E-08 (0.0000)	-4.57e-06*** (0.0000)	-1.3E-06 (0.0000)
人口密度(人/km ²)	0.00619*** (0.0014)	0.000567 (0.0007)	-0.00208 (0.0015)	0.00447 (0.0037)
農村戸籍郷鎮ダミー	1.045** (0.4540)	0.101 (0.1590)	-0.492 (0.3070)	0.246 (1.1490)
就学比率(%)	0.00517 (0.0061)	0.000735 (0.0025)	-0.0016 (0.0052)	-0.0111 (0.0186)
コンクリート製 住居比率(%)	0.00299 (0.0019)	-0.000534 (0.0008)	-0.00317* (0.0017)	0.00109 (0.0051)
コンクリート・煉瓦・ 木以外の住居比率(%)	0.000397 (0.466)	-0.000952** (0.183)	-0.000267 (0.370)	-0.00205 (1.375)
ハニ族郷鎮ダミー	0.515** (0.200)	0.447*** (0.092)	-0.114 (0.195)	-0.318 (0.724)
紅河県ダミー	-0.555** (0.238)	-0.769*** (0.118)	-0.135 (0.233)	0.287 (0.631)
金平県ダミー	-0.445* (0.268)	0.126 (0.110)	0.224 (0.220)	-0.41 (0.740)
緑春県ダミー	0.0894 (0.300)	-0.325*** (0.124)	0.0397 (0.269)	-1.813 (1.237)
定数項	0.0865 (1.050)	-1.637*** (0.411)	4.109*** (0.813)	-0.158 (2.821)
サンプル数	5,000			
Log likelihood	-4769.93			
AIC	9659.84			
BIC	10050.46			

表 25 多項ロジットモデル推計結果 2 の限界効果

	限界効果				その他 (草地・荒地等)
	水田	森林	畑	市街地	
郷鎮庁舎からの コスト距離×100 (標準誤差)	-0.0263*** (0.0001)	0.201*** (0.0226)	-0.0429*** (0.0090)	-0.000104 (0.0016)	-0.132*** (0.0223)
道路からの コスト距離×100	0.000667 (0.0036)	0.123*** (0.0132)	-0.0174*** (0.0050)	-0.000451 (0.0009)	-0.106*** (0.0130)
標高(100m)	0.000154 (0.0004)	0.00799*** (0.002)	-0.00137** (0.0006)	-2.33e-04* (0.0001)	-0.00655*** (0.002)
斜度(°)	-0.00260*** (0.000261)	0.00511*** (0.0009)	-0.00273*** (0.0004)	-0.000167** (0.0001)	0.000394 (0.0009)
日射量(kWH/m ²)	-9.72e-08*** (2.92e-08)	1.71e-07* (0.0000)	-2.01e-07*** (0.0000)	-2.06E-09 (0.0000)	1.29E-07 (0.0000)
人口密度(人/km ²)	0.000156*** (3.76e-05)	0.000104 (0.0002)	-0.000115* (0.0001)	8.19E-06 (0.0000)	-0.000154 (0.0002)
農村戸籍郷鎮ダミー	0.0194*** (0.00612)	0.0288 (0.0377)	-0.0307 (0.0192)	0.000379 (0.0020)	-0.0179 (0.0376)
就学比率(%)	0.000127 (0.000154)	0.000164 (0.0006)	-0.000094 (0.0002)	-2.29E-05 (0.0000)	-0.000174 (0.0006)
コンクリート製 住居比率(%)	8.85e-05* (4.73e-05)	-0.000101 (0.00019)	-0.000134* (0.00007)	2.81E-06 (0.00001)	0.000143 (0.00019)
コンクリート・煉瓦・ 木以外の住居比率 (%)	2.32e-05 (0.00002)	-0.000235*** (0.00009)	9.54E-06 (0.00003)	-3.16E-06 (0.00001)	0.000205** (0.00009)
ハニ族郷鎮ダミー	0.00779* (0.0044)	0.107*** (0.0218)	-0.0156** (0.0080)	-0.00103 (0.0014)	-0.0983*** (0.0210)
紅河県ダミー	-0.00505 (0.00531)	-0.178*** (0.0264)	0.0108 (0.0115)	0.00156 (0.0019)	0.171*** (0.0267)
金平県ダミー	-0.0125** (0.00585)	0.0318 (0.0264)	0.00788 (0.0101)	-0.000873 (0.0013)	-0.0263 (0.0256)
緑春県ダミー	0.00676 (0.00849)	-0.0816*** (0.0294)	0.00935 (0.0127)	-0.00256* (0.0015)	0.0680** (0.0294)

註(表 23～25 共通)

- 1) ***, **, *, はそれぞれ 1%, 5%, 10%有意水準を満たす。
- 2) 表中の農村戸籍郷鎮ダミーは、農村戸籍者比率が 90%以上の郷鎮のダミー、ハニ族郷鎮ダミーはハニ族比率が 80%以上の郷鎮ダミーである。
- 3) 互いに少なくとも 200m間隔を持った土地をランダムに 5000 抽出した。
- 4) 多項ロジットモデル推計結果 1, 2 における係数はその他(草地・荒地等)の土地利用と比較した係数値であり、限界効果は各変数の平均値での値を代入した数値を出している。

2) 推計結果の考察

第2章でも注目した水田・森林・畑の3つの土地利用について、計量経済分析によって明らかになった特徴を以下にまとめる。

第一に、「水田」は都市から近く、人口が多い市場、またハニ族の割合が高い地域で選択されやすい。住民の多くがハニ族であることによって、水稻生産の高い技術を持つ等の要因によって、水田を選択することがより経済合理的となることが考えられる。

第二に、「森林」は、郷鎮庁舎や道路からのアクセスが悪く、高標高・高斜度など生物物理的な条件の悪い地域で積極的に選択された。森林土地利用が選択される確率は、標高が100m上がると0.8%ポイント、斜度が10°増えると5%ポイント増加する。地理的に条件が不利な土地は森林になりやすく、土地条件であるので森林に固定してしまうのだといえる。

第三に、斜度や標高、郷鎮庁舎や道路からのコスト距離は「畑」の土地利用選択確率に有意に負の効果があった。標高は1000m上昇すると「畑」の土地利用選択の確率は1.37%ポイント低下する。植物の生育が良く、かつ市場への輸送に条件が良い土地では、畑作物生産量や生産物価格が向上するために、積極的に畑が作られると考えられる。

途中で触れたハニ族郷鎮ダミーが水田の選択確率に有意に正の効果を与えたことから、住んでいる民族によっては同じ土地であっても利用に差が生まれることが確認された。ただし、それが伝統的に水田を維持してきた民族の土地で水路が整っているためのものであるのか、棚田での生産技術の高さによるものであるのか、またはそこに民族由来の習俗などが影響しているのかについては、さらなる分析が必要である。

チューネンモデルを基礎にして、市場からの距離が価格や費用を左右すると仮定した本経済モデルは、標高や斜度等の自然条件をコントロールすることで、当該地域の土地利用選択行動を把握することができたと考えられる。ただし対象地域では、就業機会の増加、作目の拡大、流通の発展等の影響がますます大きくなっているため、今後土地利用パターンが大きく変化していく可能性もある。

第3節 水田の存立と土地利用変化

1) 水田の保全と政策

水田は様々な正の外部性、多面的機能をもつことが指摘されている¹⁸⁸。一般に、水田には、洪水のコントロール、地下水の涵養、土壌流出の減少、地すべりの減少、浄水、有機物の分解、気候変動の緩和、生物多様性、景観形成、地域共同体の形成といった機能がある¹⁸⁹。一方、負の外部性としては、メタンの排出、地下水・表流水の過剰利用、肥料等による水質汚濁や農薬による土地の汚染の可能性も指摘されるが、ほとんど全ての研究において、その外部経済性の総合効果は正になるという前提がおかれている。

実際に水田の外部性の価値を推計したものは CVM を用いた研究が一般的である¹⁹⁰。中でも Chang et al. (2005)は、CVM の手法を用いて台湾における水田の農地・水の保全効果に対する支払意思額について分析し、それが、米そのものの経済価値の 3.57 倍にも及ぶという結果を推計している。Aizaki(2006)は日本において、水田のみに限らないが、一戸 4144 円という多面的機能の支払意思額を算出している。

本研究における分析対象地域では、多面的機能の金銭価値がどれくらいあるか具体的に計算されている訳ではないが、2010年6月に世界農業遺産に認定されたほか、複数の地域研究において保全の異議が議論されている。これらの研究では、とりわけ伝統資源としての価値が強く強調される。森下(2008)は、文化的な資源であり観光資源でもある棚田の保全のあり方を、元陽県新街鎮の村を事例にして考察している。結論として、棚田の保全に必要な出稼ぎ抑制や所得格差是正のためには、棚田観光資源を生かした農家民宿が効果的であるとしている。黄他(2011b)は伝統的な棚田管理形態を叙述し、生物資源的な側面から、棚田は保全されつつも、近年使用される水稻のハイブリッド品種により原産品種が消滅しつつあることを危惧している。深尾(2004)のように、南部を中心に農業形態の変化と農地荒廃との関連を指摘する声もある。

元陽県政府は、近年では棚田の維持を推進していて、冬季には棚田に湛水して保全することを決定している。これは収量の増加にも効果があるとされる(安達 2012)。このように対象地域の元陽県とその周辺では、棚田の保全には積極的な動きもあるが、過去の変化から見て、今後も長期的に棚田が維持されるのか十分に検討されてはいない。今後の地域住民の食料を安定的に確保するために

¹⁸⁸ 木南(2009)を参照。

¹⁸⁹ Kim et al. (2006), Matsuno et al. (2006)を参照。

¹⁹⁰ 吉田他(1997), 吉田(1999), 合崎(2003), Chang et al. (2005), Aizaki et al. (2006)等。

も、水田・棚田などの伝統的農地や自然資源の維持が可能かどうか、分析する意義はあると考えられる。

本節では、第 2 章、第 3 章での土地利用選択に関する考察を踏まえ、特に伝統的な農地・水資源に関連の深い水田について、その変化を考察する。

2) 水田の土地利用変化

初期段階で水田であったものがその後どのように変化していくのか、または、水田から他の土地利用に変化した土地にはどういった特徴があるのかを明らかにするために、水田を基点とした変化を観察した。まず、作成した土地利用分類図で最も古い 1974 年次での水田を抽出し、水田のセル¹⁹¹をポイントデータに変換し、標高や斜度等のデータを空間座標上で結合させた。そのうち、土地利用やデータが特異なもの¹⁹²を除去してサンプルとした。

¹⁹¹ 30m×30m で一つの単位であり、1974 年の水田は全体の 5.00%で 609238 セル存在する。

¹⁹² データが欠落している、土地利用が範囲外である等。

表 26 水田から水田・森林・畑・市街地へ推移する土地の社会経済統計

		市場からのアクセス			
		郷鎮庁舎からの 距離 (km)	郷鎮庁舎からの コスト距離	道路からの 距離 (km)	道路からの コスト距離
水田→	平均	4.78	52.54	10.33	77.54
水田	標準偏差	2.80	31.31	7.22	52.08
水田→	平均	6.68	85.41	12.41	97.08
森林	標準偏差	4.38	41.73	9.35	71.99
水田→	平均	6.42	62.68	10.61	71.11
畑	標準偏差	3.89	36.40	7.41	57.80
水田→	平均	5.72	60.92	10.12	67.00
市街地	標準偏差	3.77	40.47	7.30	54.40
		地理的属性			
		標高 (m)	日射量 (kWh/m ²)	斜度 (°)	
水田→	平均	1279	734.65	14.60	
水田	標準偏差	309	60.10	6.91	
水田→	平均	1156	711.51	18.12	
森林	標準偏差	403	68.89	7.80	
水田→	平均	831	714.73	12.47	
畑	標準偏差	401	51.27	7.73	
水田→	平均	925	728.78	10.98	
市街地	標準偏差	484	53.91	7.24	

表 26 (続き) 水田から水田・森林・畑・市街地へ推移する土地の社会経済統計

		1975年 人口密度 (人/km ²)	1975年~2000年 平均人口増加率 (%)			
水田→	平均	108.8	1.18			
	水田 標準偏差	60.5	0.89			
水田→	平均	69.6	1.18			
	森林 標準偏差	45.7	0.71			
水田→	平均	89.8	1.08			
	畑 標準偏差	53.6	0.87			
水田→	平均	86.0	1.20			
	市街地 標準偏差	48.6	0.98			
2000年人口統計						
		人口密度 (人/km ²)	15~59歳比率 (%)	農村戸籍者比率 (%)	就学比率 (%)	
水田→	平均	166.2	65.64	95.42	60.76	
	水田 標準偏差	85.5	2.24	6.70	13.98	
水田→	平均	130.0	65.84	94.69	63.04	
	森林 標準偏差	87.1	2.48	6.19	14.06	
水田→	平均	125.2	65.25	94.17	58.73	
	畑 標準偏差	67.6	2.24	7.36	13.54	
水田→	平均	135.8	65.11	93.45	55.85	
	市街地 標準偏差	78.3	2.30	9.42	12.62	
		コンクリート 製の住居 比率 (%)	コンクリート・ 煉瓦・木以外の 住居比率 (%)	漢民族比率 (%)	ハニ族比率 (%)	イ族比率 (%)
水田→	平均	6.67	57.92	10.45	59.05	16.91
	水田 標準偏差	7.47	24.10	13.41	25.31	12.83
水田→	平均	6.00	52.67	10.35	54.77	9.05
	森林 標準偏差	7.06	25.68	13.63	28.63	9.86
水田→	平均	7.70	53.18	11.99	40.50	14.51
	畑 標準偏差	6.95	24.75	13.21	27.15	12.33
水田→	平均	7.31	57.96	15.51	42.81	16.91
	市街地 標準偏差	6.42	24.93	15.27	26.58	10.74

註：1) 1974年の水田のうち、互いに少なくとも200mの間隔を持った土地セルをランダム5000点抽出した。

2) 表中「道路」は国道・省道を表す。

3) 1974年の水田の中で、水田→水田は2000年でも水田の土地、→森林は2000年で森林の土地、→畑は2000年で畑の土地、→市街地は2000年で市街地の土地を表す。

1974年、2000年で共に「水田」と判断された土地ポイント(表26中の水田→水田)、1974年で「水田」、2000年で「森林」と判断された土地ポイント(水田→森林)、同様に1974年で「水田」、2000年で「畑」(水田→畑)、1974年で「水田」、2000年で「市街地」(水田→市街地)の4種類の土地ポイントの統計を示したのが表26である。1974年との比較年に2000年を選んだ理由は、入手したセンサスデータと同じ2000年を基準とするためである。社会経済データは、各土地利用セルの観測数で重みづけした郷鎮での平均の値であり、第2章第5節の分析と基本的に同じ変数を用いて比較しやすくしている。人口密度と人口増加率のみ、各県の県誌から過去1975年の人口データを使用している¹⁹³。

まず、1974年の水田のみを取り出しているのも、そもそも全体的に郷鎮庁舎からの距離が近い、斜度が低い、人口密度が高いといった水田土地利用に特徴的な統計数値になっている。郷鎮庁舎・道路からの距離等を確認するならば、水田が維持されている土地は郷鎮庁舎からの距離が近い、標高が高い、日照量が大きいの、という特徴が見られる。郷鎮庁舎からの距離・道路からの距離は共に水田が維持された土地での平均が最も低い。都市中心の近くで、水田が維持されていたことが分かる。

一方で、道路からのコスト距離を見てみると、市街地が最も低く、畑がそれに続いて低い。やはり、遠隔地への移動・輸送コストが低い土地で、市街地や商品作物の生産に水田が転換された可能性がある。

標高については、水田がそのまま維持される土地の平均が、森林へ推移するものよりさらに高い平均値を示している。これは、中国での植林政策等の結果、標高の比較的低い地域で水田から森林への転換が行われたことも影響していると考えられる。斜度の平均地は森林へ変化した土地において非常に大きく、斜度・標高が高いために農業の生産性が低い土地が森林になったと考えられる。

水田が維持された土地は、1975年においても2000年においても人口密度が高い地域である。また、農業戸籍者比率を見ると、他の項目との差こそ1%~2%弱ではあるものの、95.42%と水田が維持される地域において農業戸籍者比率が最も高い結果となった。

就学率に関しては、当初の予想に反する結果が得られた。就学率が高いとよりよい条件で就労できるため、水田から市街地への転用を促し、逆に森林や水田となる土地で就学率は低いと予想していたが、その逆の結果となった。人口統計データは2000年のデータなので、1975年段階での数値は分からず、大き

¹⁹³ 「1975年人口密度」は、各県県誌による1975年時点の郷鎮人口を各郷鎮面積で除して求めた。また、「1975~2000年年平均人口増加率」は、1975年の郷鎮人口と2000年の郷鎮人口の差から、25年間の人口増加率の平均的な値を算出している。

く変化する可能性がある就学率の変化と土地利用の変化がどのように影響したのかはこれだけでは分からない。また、市街地の土地ポイントを郷鎮レベルで見ると、元陽県東部の逢春岭郷や金平県南部の米拉祜族郷で比較的多く観測されている。これらの郷は就学率がそれぞれ 51%、41%と低い。市街地はサンプル数が少なく、このようなある特定の郷鎮の統計値に引っ張られている可能性もある。

所得や資産の指標として用いた家の壁の材質に関しては、畑や市街地に転換された土地で、コンクリート製の家のような資産を多く保有する家がより多く見られた¹⁹⁴。

また民族について、ここでも水田が維持される地域では非常にハニ族の比率が高かった。水田維持のハニ族比率は 59.05%であり、畑や市街地への推移が見られる地域より、それぞれ 46%、38%も比率が大きかった。1974 年時点でも民族比率に大きな変化がなかったと思われるが、いずれにしてもハニ族は水田の維持に大きく関係している可能性がある。聞き取り調査では、ハニ族農民には、先祖から受け継いだ耕作地をそのまま保有・維持したい、または水田として自給用に作付けしたいという農地維持への強い意識があると言われている。イ族の少数民族比率と比べると、同じく水田の維持する土地で 16.91%と割合が高いが、同時に市街地に転用された土地でも 16.91%と高く、また、畑へ転用された土地も 14.51%である。イ族水田の比率に対する畑の比率は 14%少ないのみで、ハニ族の比率の差とは大きく異なっている。

3) 水田が維持される土地の特性

水田から他への土地利用の変化がどうだったかについて、第 1 節で議論したモデルに基づいてさらなる計量経済分析を行う。1974 年から 2000 年での土地利用変化の要因を分析するために、就学比率や住居など変化しやすいにも係わらず 2000 年のデータしか手に入らない社会経済指標は除外した。一方で、第 2 章の表 8 において例えば元陽県では、農村戸籍者比率が 95.1%から 94.2%に、少数民族割合は 88.3%から 88.7%へと近年の 10 年間でもほとんど変化していない。このことから、農村戸籍郷鎮ダミーと、ハニ族郷鎮ダミーは、それぞれ土地利用の変化による変動はしていないと想定し、推計に使用した。さらに、道路の建設に関して言うと、紅河県誌(1991)や元陽県誌(1991)によれば 1958 年～

¹⁹⁴ 2000 年の土地利用と 2000 年の住居データに関して、市街地の土地利用と住居の関係は内生性の問題があり、因果関係を明らかにすることはできない。一方で、畑作の土地利用に関しては、地域住民の収入が増えたために経済作物の畑作が増えたと考えるよりも、経済作物の畑作が増えたために地域住民の収入が増えたと考えた方が合理的である。

1960 年の大躍進の際に大規模な建設があったとされる。また 1960 年代後半から 1970 年代にかけても道路建設事業があったが¹⁹⁵、記述のある国道や省道は 1980 年代までには完成されている。その後改修等があったにせよ国道・省道の位置は基本的に 2000 年の土地利用の 20 年前に概ね決定しているので、内生性の問題はないと判断し道路から距離も変数として用いる。その他、人口については、データのある 1975 年の人口密度とその後の 2000 年までの平均的な人口増加率を用いた。郷鎮庁舎からの距離と、地理的な変数は年次によって変化することはないので、そのまま説明変数に使用した。それぞれ 200m 以上の間隔を空けた上でランダムに 5000 ポイント取り出し、観測対象とした。推計の結果が表 27 であり、それぞれの変数の平均地での限界効果を算出した結果が表 28 である。

¹⁹⁵ これは文化大革命の時期に重なる。

表 27 1974 年 水田からの変化の計量経済推計結果

水田→	1974年水田ランダム5000抽出→それぞれの土地利用			
	森林	畑	市街地	その他 (草地・荒地等)
郷鎮庁舎からの コスト距離	0.0118***	0.00382*	-0.00409	0.00750***
(標準誤差)	(0.0017)	(0.0021)	(0.0051)	(0.0014)
道路からの コスト距離	0.00188**	-0.00275**	0.00221	-0.000659
	(0.0009)	(0.0011)	(0.0026)	(0.0007)
標高(m)	-0.0000911	-0.000103	-0.000673**	-0.000275***
	(0.0001)	(0.0001)	(0.0003)	(0.0001)
斜度(°)	0.0367***	-0.0482***	-0.0581***	0.0122**
	(0.0073)	(0.0086)	(0.0202)	(0.0053)
日射量 (kWH/m ²)	-1.75e-06**	-5.01e-06***	-2.35e-06	-5.81E-07
	(0.0000)	(0.0000)	(0.0000)	(0.0000)
1975年 人口密度 (人/km ²)	-0.00706***	-0.0105***	-0.00746**	-0.00693***
	(0.0015)	(0.0017)	(0.0037)	(0.0009)
1975~2000年 平均人口 増加率(%)	0.0022	0.0133**	-0.0217	0.0108***
	(0.0052)	(0.0060)	(0.0135)	(0.0037)
農村戸籍郷鎮ダミー	-0.229	0.568**	-1.192**	0.326*
	(0.223)	(0.277)	(0.577)	(0.166)
ハニ族郷鎮ダミー	-0.561***	-0.936***	-0.720*	-0.600***
	(0.144)	(0.181)	(0.423)	(0.095)
紅河県ダミー	-0.326*	0.175	-0.0152	0.213**
	(0.168)	(0.163)	(0.384)	(0.098)
金平県ダミー	-0.000415	0.0105	-0.339	-0.441***
	(0.135)	(0.144)	(0.324)	(0.098)
緑春県ダミー	0.378*	-0.318	-1.387*	-0.286*
	(0.202)	(0.261)	(0.759)	(0.151)
定数項	0.121	3.627***	3.266	1.089*
	(0.798)	(0.963)	(2.241)	(0.580)
サンプル数	5,000			
Log likelihood	-5956.795			
AIC	12017.59			
BIC	12356.49			

表 28 1974 年 水田からの変化 計量経済推計結果の限界効果

水田→	限界効果				
	水田	森林	畑	市街地	その他 (草地・荒地等)
郷鎮庁舎からの コスト距離×100	-0.157***	0.0770***	-0.0133	-0.0109**	0.104***
(標準誤差)	(0.0267)	(0.0148)	(0.0142)	(0.0055)	(0.0270)
道路からの コスト距離×100	0.00898	0.0263***	-0.0209***	0.00289	-0.00172
	(0.0133)	(0.0081)	(0.0077)	(0.0028)	(0.0141)
標高(100m)	0.00475***	0.000857	0.000511	-0.000587*	-0.00553***
	(0.0015)	(0.0010)	(0.0008)	(0.0003)	(0.0016)
斜度(°)	-0.00164	0.00374***	-0.00462***	-0.000732***	0.00326***
	(0.00104)	(0.000666)	(0.000600)	(0.000219)	(0.0011)
日射量 (kWH/m ²)	2.79e-07**	-9.59e-08	-3.48e-07***	-1.61e-07	1.82e-07
	(0.0001)	(0.0001)	(0.0001)	(0.0000)	(0.0001)
1975年 人口密度 (人/km ²)	0.00153***	-0.00022	-0.000456***	-0.0000255	-0.000831***
	(0.000179)	(0.000141)	(0.000125)	(4.07e-05)	(0.000204)
1975~2000年 平均人口 増加率(%)	-0.00189***	-0.000513	0.000586	-0.000324**	0.00214***
	(0.000722)	(0.000486)	(0.000430)	(0.000147)	(0.000777)
農村戸籍郷鎮ダミー	-0.0422	-0.0501*	0.0319**	-0.0257	0.0860**
	(0.0336)	(0.0256)	(0.0154)	(0.0165)	(0.0346)
ハニ族郷鎮ダミー	0.138***	-0.0155	-0.0387***	-0.00313	-0.0808***
	(0.0204)	(0.0129)	(0.0107)	(0.00412)	(0.0204)
紅河県ダミー	-0.0252	-0.0444***	0.00754	-0.00116	0.0633***
	(0.0187)	(0.0133)	(0.0122)	(0.0040)	(0.0212)
金平県ダミー	0.0637***	0.0261*	0.0197*	-0.00145	-0.108***
	(0.0199)	(0.0135)	(0.0109)	(0.00337)	(0.0198)
緑春県ダミー	0.034	0.0714***	-0.0163	-0.00962***	-0.0795***
	(0.0309)	(0.0252)	(0.0163)	(0.00350)	(0.0307)

註(表 27, 28 共通)

- : 1) ***, **, *, はそれぞれ 1%, 5%, 10%有意水準を満たす。
- 2) 表中の農村戸籍郷鎮ダミーは、農村戸籍者比率が 90%以上の郷鎮のダミー、ハニ族郷鎮ダミーはハニ族比率が 80%以上の郷鎮ダミーである。
- 3) 互いに少なくとも 200m 間隔を持った 1974 年時の水田をランダムに 5000 抽出した。
- 4) 多項ロジットモデル推計結果 1, 2 における係数はその他(草地・荒地等)の土地利用と比較した係数値であり、限界効果は各変数の平均値での値を代入した数値を出している。

表 28 の限界効果を中心に確認する。全サンプルからランダムに抽出し、2000 年の土地利用を見た表 25 と異なる結果もいくつか見られる。

都市(市場)からの距離の指標については、郷鎮庁舎からの距離が近いほど水田から水田となる確率が上昇する結果となり、つまり水田が維持されやすいことが分かる。また、「その他」の草地や荒地の土地利用については、対象地域全体からランダムに取り出した分析では、郷鎮庁舎に近い方が増加する結果となったが、水田から変化するかどうかなを見た場合には、遠い方が選択される確率が高いという結果となった。「草地」や「荒地」土地利用は、対象地域全体では市場アクセスの良い土地で増加するが、水田から「草地」や「荒地」に転換するかどうかという点からすると、市場アクセスの良い土地では、草地や荒地にするという選択はされづらいことが分かった。元々水田であるような水利などの条件が整った土地の場合は、都市の近くでも草地等に転換するよりもそのまま水稲生産を行った方が収益性が高いことが考えられる。

その他、標高については、高標高であることで水田が維持される確率が上昇する結果が得られた。逆に低標高では「その他」の土地利用に転換しやすい。人口密度が高い地域で水田が残りやすいという結果は表 25 とも共通である。Lambin et al. (2000)が指摘したように、人口が多く、食料需要が大きな地域では、主食用農産物生産地である水田は残りやすいと考えられる。人口の増加率は、水田と市街地でむしろ負に有意となり、表 27 の結果では有意水準は安定していない。これは、人口抑制政策によって人口の増大が抑えられたことが影響していると考えられる¹⁹⁶。

また、農村戸籍郷鎮ダミーは畑やその他の草地等の土地利用への変化に有意に正に影響している。ハニ族郷鎮ダミーは、表 25 では森林の確率も増加させていたが、表 28 では水田を維持することにのみ正に働く結果となった。ハニ族の村では、文化や技術によって、水田の維持による経済合理性が増すと考えられる。

水田から森林への変化を促す変数としては、市場からの距離、農産物生産条件の悪さが該当する。中国では 1980 年以降に森林保護への政策転換があり、地域によっては耕作地を山林へ戻すことが奨励された。市場アクセスによる経済条件や生物的な生産条件が悪く、食糧事情が悪くない地域の水田から順に、植林地に転換された可能性がある。本推計では対象としていないが、2000 年代以降は全国的に対応した者に現金・穀物を支給する¹⁹⁷という退耕還林政策¹⁹⁸が実

¹⁹⁶ 本研究で人口密度の初期値をその後の増減より重視して考察を行った理由は、郷鎮間の人口の差は、各郷鎮内での人口の伸び率の差よりはるかに大きいためである。

¹⁹⁷ 対象地での植林には、1 ムー(1/15ha)当たり 100kg の穀物、及び現金 20 元を経済林で 5 年間、生態林で 8 年間毎年支給するという補助が行われる。

¹⁹⁸ 退耕還林政策は 1999 年から中国のいくつかの地域で試験的に実施され、2002 年より本

施された。これは、水田を保持するインセンティブを低下させ、今後さらに水田を減少させることに繋がると考えられる。

水田から畑への変化が多いのは、道路へのコスト距離指標によって示される市場や遠隔地へのアクセスが良い土地、標高が低く生産条件の良い土地である。本章では、Chomitz et al. (1996)や Munroe et al. (2002)の研究にならって、当初は郷鎮庁舎からの距離指標が低く、都市(市場)までの距離が短い地域で主食用農産物を生産する水田がより収益性の高い畑に転用されていくのではないかとという仮説を持ったが、対象地域では必ずしもそうではなかった。これに関連した事情の説明を付け加えると、近年、元陽県ではハイブリッド米や棚田紅米¹⁹⁹といった収益性の高い水稻の生産も見られ²⁰⁰、水稻を必ずしも自家消費の低価格農産物として扱うことができない事例も現れていて、棚田の観光業の発達により、郷鎮や道路の近くの水田に二次的な価値が生まれたことが、市場からの距離が水田面積に負に影響することの要因となっている可能性がある。

その一方で、道路までのコスト距離が近いという点での市場アクセスが良い土地では、水田は畑に転用されやすいことが明らかになった。対象地域南部で拡大した大規模プランテーションによるバナナ園やゴム園は、最も近い郷鎮庁舎のような地域の市場との距離よりも、国道や省道を通じたより大きな市場へのアクセス条件が重要であると考えられる。

今後、さらに正確に土地利用の変化を推計するためには、水稻作ではハイブリッド米や棚田紅米のような商品作物としての属性を持った生産物、畑作ではゴム園のような輸送によって劣化しにくい生産物の土地利用分布を特定し、土地利用を細かく分離した推計を行うことが望ましいと考えられる。

表 25, 28 を合わせ、本章での推計結果から総合的に判断すると、伝統的な農業形態として水田・棚田が残りやすい条件は、都市や市場に近く、一方でその地域内に食糧需要があり、標高がある程度高くして水稻以外の作物生産が難しい地域である。雲南省南部の元陽県を中心とした 4 県で世界農業遺産に登録されるような広大な棚田が残存した要因には、米への食糧としての自家需要と他の経済作物生産が地形上困難だったことがあったと考えられる。その一方で、その要因を経済的な要素と文化やしきたりで必ずしもはっきりと判別はできない

格実施されている。雲南省では、1980年に森林法が制定され、森林伐採の制限や森林の使用権移譲の制限が初めて定められた(中国政府全国人大法状況 www.npc.gov.cn)。この後、1989年より三北及び長江流域等防護林体系建設計画、2000年の退耕還林政策等、補助金を伴う森林保護政策も実施されている(中国国家林業局(<http://www.forestry.gov.cn/>))。

¹⁹⁹ 元陽県での聞き取りでは、通常米が 1kg3 元、ハイブリッド米は 1kg2.4 元、新品種の棚田紅米は 1kg8 元になる。ハイブリッド米は 2 期作可能で収量が高い。

が、ハニ族棚田の地域研究が指摘してきた²⁰¹ように、少数民族ハニ族の存在によって、水田が維持されてきたことも事実である。

本章では、第2章でのリモートセンシング解析結果を基に土地利用を計量経済学的に推計し、その選択要因を明らかにした。リモートセンシング解析を中国全土で行った Smil (1999)や Seto et al.(2002)の指摘、Li(2013)と公刊統計との矛盾に見られるように、中国の農地面積データは、歴史的にも過小評価されてきた可能性が高く、土地利用分析を行うために十分な正確さを持たない。特に、比較的狭い県レベルの土地利用は、データのばらつきも大きいと考えられる。それに対して、リモートセンシングデータを解析することによって、その土地利用データの正確さを明らかにしたうえで経済分析することが可能になった。

その際、あらかじめ農家の土地利用選択問題として土地利用/土地被覆を分類しているために、Verburg(2004)の指摘したような自然科学データと経済モデルとの乖離は極力少なくできる利点がある。本研究では、Chomitz(1996)等の先行研究のモデルを踏まえて、標高等や道路距離といった連続的な地理データに加え、郷鎮ごとの社会経済統計とも結合して分析している。

また、1974年の水田を取り出したように、全く同じ土地ポイントを取り出し、その推移・変化を考察することは、集計されたデータを用いた分析では行うことができない。その土地利用変化を明らかにした点は、本研究での貢献であり、リモートセンシングデータ用い土地利用を分析した大きな意義の一つであると考えられる。

²⁰¹ Zheng (2005), 森下(2008), 安達(2012), 黄他(2011a)を参照。

第4章 農家の土地利用行動に関する応用空間経済分析—中国雲南省元陽県全福荘村を事例に—

第1節 農地管理と圃場分散問題

1) 圃場の分布における農業生産上の問題

経済発展が進む中で、農地が高い生産量をもって持続的に利用されていくためには、生産性が高く、特に労働節約的な農業を行うことが重要となる。しかし、多くの国と地域において、農地の零細性が生産性向上に対する大きな課題となっている²⁰²。圃場の零細性をもたらす圃場分散は、世界の多くの国と地域で確認される(表29)。古くから、直接生産効率性を低下させるということが知られている²⁰³。具体的には、圃場分散は圃場から圃場への移動に余計な時間を必要とさせ、機械効率や土地収益性を低めている²⁰⁴。

OECD(1964)やKing(1977), King(1983)は、労働コストが圃場分散や圃場間の距離に比例して増加し、実質的な労働投入量が距離に反比例して減少する場合があることも指摘している。また、機械作業に係るコストの増大も問題となり²⁰⁵、地域によっては、圃場分散が大規模な灌漑計画の障害となることも確認されている²⁰⁶。このように、圃場への通作距離や圃場間の距離が効率や収益性を低める要因になっており、その点において、GISを用いた分析が高く効果を発揮すると考えられる。

以上の圃場分散には利点もあり、リスクの分散化や、異なる標高や緯度で異なる種類の農産物を生産することによって、農作業を分散させることができるという点が挙げられる²⁰⁷。しかし、そのような利点は、土地の零細分散による生産性低下の非効率性と比較するとわずかだという実証結果も多い²⁰⁸。

圃場分散は様々な地域で見られるが、発生のもっとも大きな要因はHabakkuk(1995)が実証的に示したような遺産相続であるとされる。相続だけでなく、土地の不足や人口増加の状況が加わることで圃場分散がもたらされるということも指摘されている²⁰⁹。Lambert(1963)は、土地市場に起因する圃場分

²⁰² Tan et al.(2008)を参照。

²⁰³ King(1977)を参照。

²⁰⁴ Bently(1987)を参照。

²⁰⁵ King(1977)を参照。

²⁰⁶ Meliczek(1973)を参照。

²⁰⁷ Netting(1972), Brarel(1992)を参照。

²⁰⁸ Smith(1978), Kawasaki(2010)を参照。

²⁰⁹ King(1983)を参照。

散の存在を指摘し、離れた土地の売買が圃場分散を生むことを確認している²¹⁰。また、過去数十年で、東ヨーロッパや旧ソビエト諸国を中心に国家の保有する財産・不動産の権利移譲が進み、結果として圃場分散を生んだ例も見られる²¹¹。所有権の移譲以外のケースでは、土地の形状がもとで機械化に不適な圃場が利用されないままになり、結果的に圃場分散の生まれることが報告されている²¹²。

圃場分散に関わる問題は、中国においても、平等主義的な生産請負制の導入とともに顕著に見られる²¹³。様々な研究者が、圃場分散が生産性の損失を引き起こすことを示している²¹⁴。圃場分散は、機械が使用されない低開発地域の農村においては、役畜の利用効率を下げ、通作距離を伸ばして水利調整や草刈りといった圃場管理労働に掛かる負担を高める。

本研究の対象地域のような山間部の農村においては、圃場の分散は日頃の管理作業における険しいあぜ道の上下り、収穫期には収穫作物を担いで山道の歩行という労働の負担を増やす。労働の限界収益性の低下を通じて、粗放的な圃場管理や耕作放棄にも繋がると考えられる。農産物生産の条件に恵まれない山間部で持続的で効率的な農業生産を行う上で、圃場分散は解決すべき課題の一つである。

本章では、棚田・農地資源の効率的・持続的な利用を目的として、集落での農家の経済行動を分析する。山間地特有の傾斜が厳しく農作業負担も大きい対象地域において、GPS・GISを活用し、圃場の位置や標高、道のりについてのデータを取得し、農家が効用を最大化する意思決定を行った上での各圃場の生産・管理への影響を考察する。

²¹⁰ これに関連して、英国の農場を対象にした Ilbery(1984)などの実証研究がある。

²¹¹ Smith(1978), Rambold(2003)を参照。

²¹² Meliczek(1973), Smith(1978)を参照。

²¹³ Tan et al. (2006)を参照。

²¹⁴ Nguyen et al. (1996), Wan et al. (2001), Wu et al. (2005), Tan et al. (2006), Chen et al. (2009)などが示している。

表 29 世界の国と地域での農地面積と圃場数

地域/国名	年	農家			圃場	
		農家数	面積 (ha)	平均面積 (ha)	総圃場数	一戸当たり 圃場数
アフリカ						
ブルキナファソ	93	886638	3472480	3.9	8491204	9.6
コンゴ共和国	90	44779600	2387700	0.5	8747700	2
エジプト	90	3475502	3297281	0.9	5764298	1.7
ギニアビサウ	88	84221	96375	1.1	232638	2.8
リビア	87	175528	2495906	14.2	297445	1.7
マラウイ	93	1561416	1167240	0.7	2738607	1.8
ナミビア	95	13822	76214	5.5	14372	1
ウガンダ	91	1704821	3683288	2.2	2725222	1.6
北中米						
カナダ	91	280043	67753700	241.9		
メキシコ	91	4437863	183838578	41.4		
パナマ	90	213895	2941583	13.8	279622	1.3
セントルシア	86	11551	23478	2	13530	1.2
アメリカ合衆国	87	2087759	390311617	187		
南米						
アルゼンチン	88	378357	177437398	469		
ブラジル	85	5834779	376286577	64.5		
コロンビア	88	1547846	36033713	23.3		
パラグアイ	91	307221	23817737	77.5		
ペルー	94	1756141	35381809	20.1	5721113	3.3
アジア						
キプロス	94	52089	177760	3.4	230376	4.4
インド	91	106637000	16507000	1.6		
インドネシア	93	19713806	17145036	0.9		
日本	95	3453550	4282000	1.2		
韓国	90	1768501	1857491	1.1		
ミャンマー	93	2924898	6886956	2.4	6132867	2.1
ネパール	92	2736050	2598971	0.9	10831202	4
パキスタン	90	5071112	19252672	3.8	9579603	1.9
タイ	93	5647490	19002071	3.4		
トルコ	91	4068432	23451099	5.8	21601272	5.3
欧州						
フランス	88	1016755	31985606	31.5		
ドイツ	95	56900	18617900	32.8		
イタリア	90	3023344	22702356	7.5	9680202	3.2
オランダ	90	127367	2163472	17	396950	3.1
スロベニア	91	156549	912013	5.8	500000	3.2
スペイン	89	2284944	42939208	18.8	18433605	8.1
スイス	90	108296	1283240	11.8	758072	7
イギリス	93	244205	17301000	70.8		

表 29 (続き) 世界の国と地域での農地面積と圃場数

地域/国名	年	農家数	農家		圃場	
			面積 (ha)	平均面積 (ha)	総圃場数	一戸当たり 圃場数
オセアニア						
オーストラリア	90	129540	466561000	3601.7		
クック諸島 (ニュージーランド領)	88	2188	2604	1.2	6399	2.9
ニュージーランド	90	80904	17489398	216.2		
ニウエ	89	453	2760	6.1	3903	8.6
パラオ	89	300	158	0.5	814	2.7
サモア	89	11099	67375	6.1	33796	3

出所：FAO (2001) Supplement to the Report on the 1990 World Census of Agriculture を基に筆者作成

2) 中国における圃場零細分散問題

1978 年以降、改革開放が進む中、中国では1982年には人民公社の解体が決定され、生産請負制が導入された²¹⁵。Lin(1992)は、この改革によって生産性が向上したという実証を行っている。一般に、農地を共同で管理し、生産物を平等に分配する形態に比べ、農地をそれぞれの農家が専有的に利用する方が、個々の農家の投入の限界報酬が上昇し、投入の増加を通じて圃場の生産性が向上すると考えられているが、それを裏付けたことになる。一方で、近年の研究では Rozelle et al. (2004)のように必ずしもその生産性が向上したとは言えないという指摘もある。

ここで問題となる点の一つが、中国における農地の零細分散性である。農地の請負は、農家の生活権の保障という視点から、集団所有地の面積及び生産量を、農家の人口に応じて均等に配分するのが一般的である²¹⁶。宋(2003)やTan et al. (2006)は生産請負制の導入により、農地を農家に均等に請け負わせた結果、農地利用や農業経営の零細分散がもたらされ、農業の生産性が伸び悩む一因となっている。宋(2003)は四川省で経営農地に関する聞き取り調査を行い、中国の農地流動性について調べた。その中で、農地の移動があった農家は調査対象のうち67%を占めたが、主な理由は農地転用であり、また分家による変動や人口変動による再配分も除けば、借り入れは経営農地面積の15%、貸し出しはわずか5%といずれも低いことが示されている。このような、農地流動化の停滞と圃

²¹⁵ その詳細は、山田(2006)を参照。

²¹⁶ 李(2004)を参照。

場分散は、生産請負制導入以降、中国全土に広く見受けられるという²¹⁷。

中国で圃場分散や農地流動化と関連して分析されるテーマの一つが、都市への労働力移動に関する研究である。Carter et al. (2002)は、江西省と浙江省で、土地区画が多い農家の方が、農業への平均的な労働投入量を増加させることを明らかにした。Tan et al. (2008)は、江西省において、トウモロコシや早生水稻の生産を調べ、小区画で筆数の多い圃場を持つ農家は、近代的な技術を使用しにくい傾向にあり、労働力の投入量が大きくなると報告している。このように圃場分散が、労働コストの上昇と相関があることを示しているが、農地流動化が農村から都市への労働力移動につながるかという点に関しては明らかにしていない。その点について、Wang et al. (2007)は、農地流動化の可能性を高める土地の貸し借りが農外労働への参加に正の効果を与えることを示している。圃場分散による労働投入量の増加は、労働コストを上昇させ、時に都市への労働力移動を妨げていることが確認できる。

3) 圃場分散の研究の課題

圃場分散の影響やその分布の改善施策を定量的に分析するには、まず圃場の位置を正確に把握することが望ましいが、従来の研究では、必ずしも圃場の位置や距離等は考慮されていない。Bently(1987)は、圃場間の通作距離の増加が労働効率を引き下げる大きな原因だと考えられているが、これまでの圃場分散の研究では、往々にして、その圃場間距離や形状が無視されてきたことを問題提起している。

圃場分散に関する経済分析では、OECD(1964)のように圃場の筆数を変数に入れた推計を超えるような研究が現れておらず、しかも距離や圃場サイズを無視している場合も多い。過去にde Garis De Lisle(1982)のように圃場までの直線距離を計って分析した研究があるが、近年の計量経済学的な圃場分散の影響の推計において、その指標はシンプソンインデックス(Simpson Index:SI)や圃場の筆数といった圃場の筆数の変数が用いられるケースがほとんどである²¹⁸。

Bently(1987)以降も、Blarel(1992)による SI²¹⁹の導入以外に指標変化は見ら

²¹⁷ Nguyen et al. (1996)を参照。

²¹⁸ 中国を対象とした研究でも、Nguyen et al. (1996), Chen et al. (2001), Wan et al. (2001), Wu et al. (2005), Tan et al. (2006), Chen et al. (2009), Jia et al. (2012)など多くが圃場の筆数のみを変数として用いている。

²¹⁹ Simpson Index は、 A_i を各圃場の面積として、 $1 - \frac{\sum(A_i^2)}{(\sum A_i)^2}$ という式で表される

指標である。圃場が一枚のみの場合は0であり、圃場の枚数が増え、面積が均等に分割されるほど、大きな値となる。

れておらず。また、労働などのコストが圃場分散とその距離に比例して増加し、投入量が減少するという指摘²²⁰にも触れられていない事例が多い。Bently(1987)の提起した課題は、現在も解決されておらず、通作の距離や移動のコストなどは十分に加味されていないといえる。

4) 圃場分散研究への GIS によるアプローチ

全ての先行研究が筆数やSIのみを圃場分散指標に用いているわけではなく、中国で距離等を加味して圃場分散を分析している研究例として、Tan et al. (2008)が挙げられる。この研究は、圃場分散指標の検討で距離や通作時間のアンケート結果やSIを取り入れ、費用や労働投入量が圃場分散や圃場までの距離によって増えていることを明らかにした。しかし、通作時間の聞き取りには大きな測定誤差が生じること、道のりは直線距離近似の2倍にもなりうるといった問題も指摘されている²²¹。

このような問題を克服し、圃場間の距離や圃場の分布を正確に把握するために有効であると考えられる手法として、GPS・GISの利用が最も効果的であると考えた。

圃場の分散錯圃に関連した研究で、GISを活用している例としては、鹿内他(2007)、西村(2009)、井上他(2011)等がある。井上他(2011)は、堆肥運搬散布サービスについて、圃場一筆単位の所要時間や日割りの散布面積を試算し、堆肥センターから圃場全体の重心までの距離を通作距離とし、重心から各圃場への距離の平均を圃場分散度と作業日数単位の散布面積との関係を回帰分析で検討している。一方で、鹿内他(2007)や西村(2009)は、圃場の分散について、GIS・GPSを活用し変数の作成や位置情報の把握を行うというアプローチを取っている。中でも西村(2009)は、GPSを用いてハーベスタの移動時間と農作業時間を詳細に明らかにした点に新規性がある。

ただしこれらの研究は、特定の農家経営での分析が主であり、集落全体の圃場について、その分布や通作を網羅的に明らかにしたものではない。本章では以上の論点を踏まえつつ、さらに田畑(1995)や鶴岡(2001)、梅本(2010)などの経営分析の論文を参考にしながら、GPS・GISを用いて統一的なデータセットを作成することで、圃場の通作の距離などを加味した詳細な分析を計量経済分析に応用することとする。特に分析対象地域の特性に配慮して、生産性を制約する自然条件である標高をコントロールしながら、圃場の筆数や圃場への距離を把握し、どのような圃場で効率的な生産がなされるのかを考察する。

²²⁰ King(1977)、King(1983)を参照。

²²¹ Gibson et al. (2007)やGibson et al. (2010)を参照。

第2節 GPS を利用した圃場分布・通作経路 GIS 地図の構築

1) 研究対象地域の選定

本研究は、圃場分散が大きな課題となっている中国でも、特に圃場分散が著しく、その上標高差が大きく道が険しいために圃場分散による生産量の低下が如実に表れると考えられる中国雲南省紅河自治州(図 36)における元陽県南部の全福荘村²²²(図 37, 38)を分析対象地域とした。

第3章でも確認したように、元陽県には巨大な棚田地帯が広がっており、統計 102 度 27 分から 103 度 13 分、北緯 22 度 49 分から 23 度 19 分に位置する。2010 年末には人口は 42.4 万人であり、少数民族比率は 88.6%と非常に高いことが特徴である。農業が主要な産業であり、農業人口比率は 95.1%、第一次産業は GDP の 36.1%を占める。気候は亜熱帯型で、年平均気温 24.4 度、年平均降雨量は 899.5mm である。海拔 144m から 2,939m までひろがり、標高によって気候条件は大きく異なる。

元陽県の中でも、全福荘村は元陽県の棚田地帯のほぼ中心に位置しており、土地は急な斜面が続いている。農地も含めた村全体の面積は 4~5km² ほどである(図 38)が、標高は 1,500m から 1,900m 弱までかなりの高度差がある。年平均気温は 15℃ほど、降水量は 1,500mm ほどであるが、村の下部と上部では気候条件も異なり、上部に位置する圃場と下部に位置する圃場では、気温が 2 度以上異なる。

農業機械はほとんど利用されていない。水などの自然資源は大変豊富で、アンケート結果によれば個々の農家が水の利用に制約を受けることはほぼない。元陽県は少数民族の全人口に占める比率が 88.3%と非常に高いが、全福荘村の少数民族はすべてハニ族である。ハニ族は伝統的に水稻を大切にしてきたが、聞き取り調査によると近年若い働き盛りの男性は出稼ぎに行くケースがほとんどであり、一部の遠隔地の圃場で耕作放棄が見られるなど、伝統的な慣行が変化しつつあるようである。

土地取引は非常に稀であり、家族や親せき、地縁などの信頼関係で結ばれた関係間でわずかに行われるのみである。水田は田越し灌漑や番水のように、水利の共同性が要求される。耕作放棄地されると周辺の圃場に病虫害が発生する

²²² 「全福庄村」とも表記される。中国語表記では「元阳县全福庄村」であるが、中国語の「庄」は日本語で「庄」と「荘」のどちらにも翻訳される場合がある。本研究では、Google Earth 上の表記である全福荘村に統一している。

など、外部性があることは意識されている。土地取引が少ないため、初期の配分で不具合のあった遠隔の圃場がそのままになっていて、兼業収入が増大した近年は農作業の継続に執着しなくなった農家などで、さらに耕作放棄が増える可能性もある。

2011年8月1日~10日に中国雲南省紅河学院大学楊六金氏の研究チームと合同で元陽県全福莊村において聞き取り調査を行った。図38にあるように、全福莊村は5つの小組に分かれるが、第3組に関しては全戸、第1組、第2組、第4組、第5組についてはランダムサンプリングで18戸ずつ調査を行った。その結果、調査を行った全農家の数は139戸であり、欠損無く農家調査データとGPSデータを取ることができた農家は114戸である。組ごとの内訳は、第1組で15戸、第2組で16戸、第3組で54戸、第4組で15戸、第5組で14戸となっている。

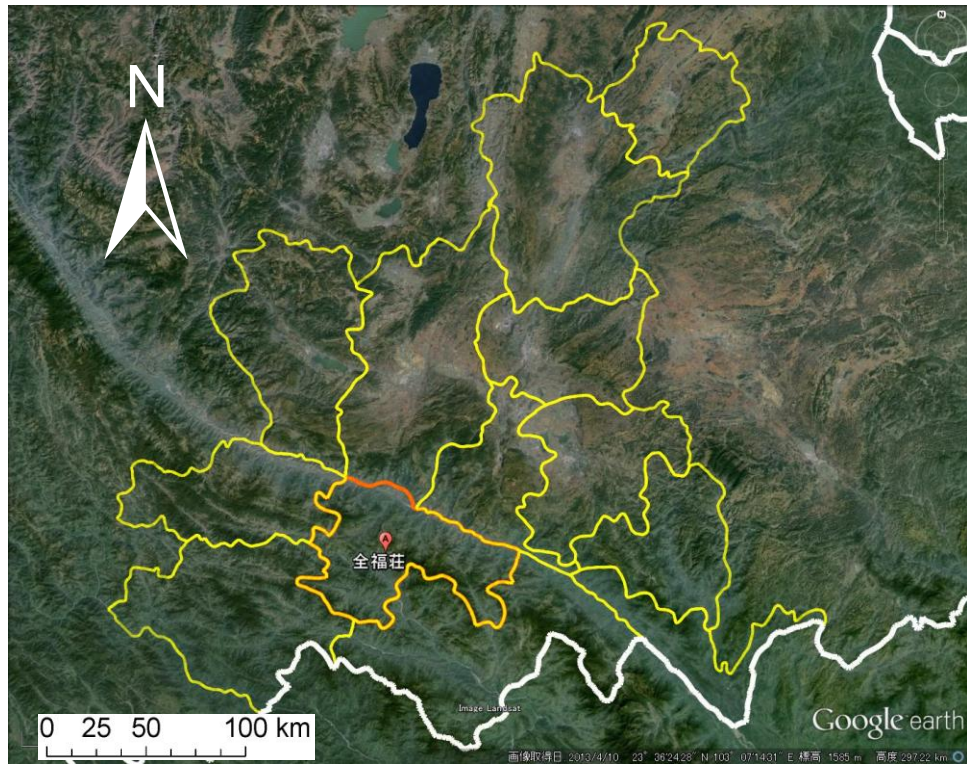


図 36 調査対象地域 雲南省全福莊村の位置
 白線：州境 黄色線：県境 橙線：元陽県

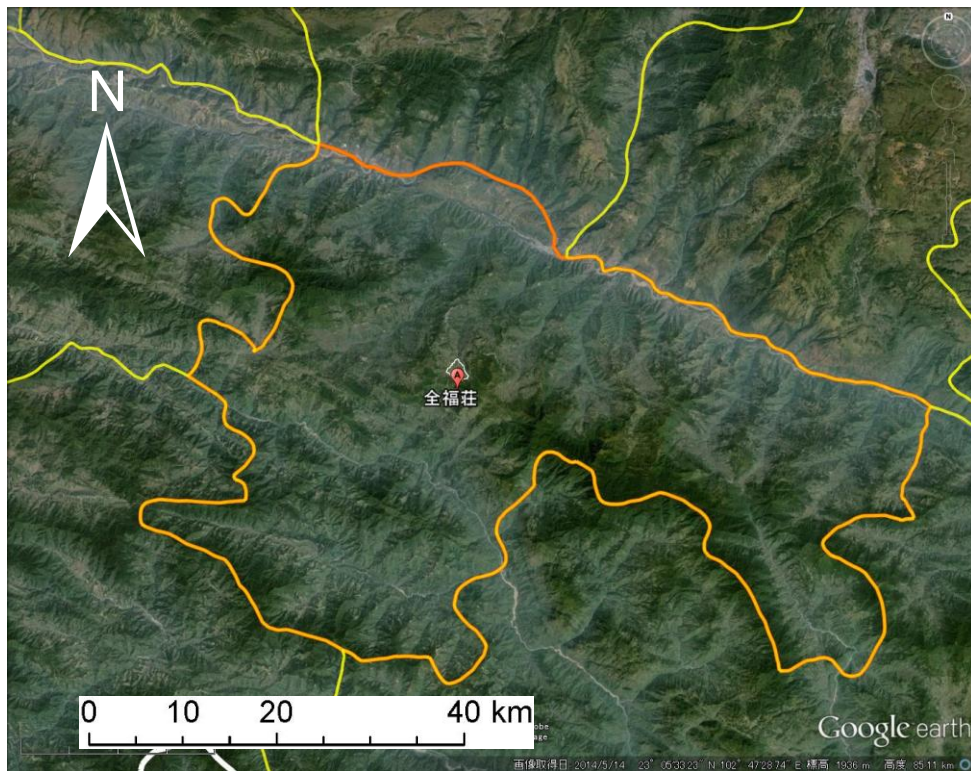


図 37 調査対象地域 雲南省全福莊村の位置 黄色線：県境 橙線：元陽県
 註：「全福莊」マーカー上部の白線で囲まれた部分が村の農地の範囲である。

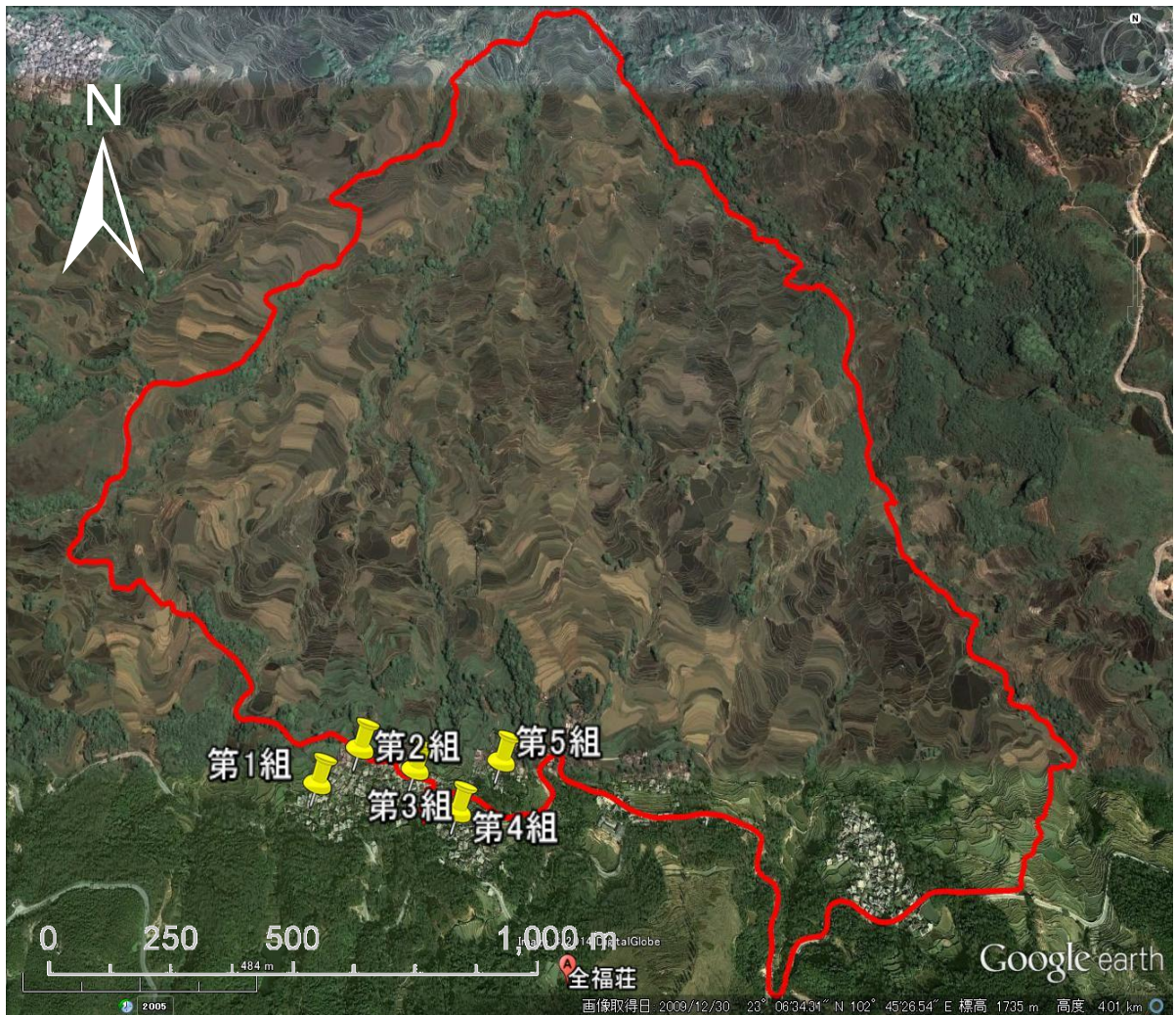


図 38 対象とする集落の農地と第 1~5 組の居住地

赤線：集落全体の保有農地範囲 マーカー：第 1~5 組の居住中心地

出所：Google Earth (earth.google.co.jp/) より筆者作成

2) GPS による圃場の特定

GPS を用いて分析対象地域における圃場の特定、移動経路の特定を行った。GPS データの取得は、2011 年 8 月 1 日～10 日の 10 日間の間に行った農家調査での調査票による聞き取りの直後に実施した。具体的には、調査票調査を終えた後、各農家に GPS レシーバーを携行してもらった上で共通の地点から出発して、自らの耕作する全ての圃場を巡り戻って来てもらった。使用した GPS レシーバーは GARMIN 社の eTrex Venture HC 及び eTrex Legend HxC である。eTrex Venture HC が 7 台、eTrex Legend HxC が 5 台、計 12 台の GPS レシーバーを農家の移動経路調査に使用した²²³。

また循環の際には、圃場の中心の座標や大きさが判別しやすいように、農家には圃場の周囲を一周してもらっている。

循環したのち、GPS の記録をもとにして彼らの移動経路やそれぞれ巡った圃場を Google Earth (earth.google.co.jp) のパードアイ機能を用いてテレビ画面上に映写し本人に確認してもらった。その上で、調査票でのそれぞれの圃場の ID と、Google Earth 上に記録した圃場の位置座標を整合した。図 39 は実際にある農家が自らの耕作する圃場 A・圃場 B を巡り、戻ってきた様子の記録である。GPS による移動の記録(白線)を Google Earth の画像上に載せ、その経路を再現している。

圃場を巡る際に、農家には、普段の農作業と同じように全ての圃場を順番に巡ってもらい、実際の農作業はせずに戻ってもらった。その際通る道は、普段使用しているルートと同一である。始めの調査票調査時には紙面による地図の上で各圃場とその地図上の場所の一致が困難であった農家も、自分が圃場を巡った順番と移動した経路のアニメーションとをテレビ画面で見ることにより調査票に記載された圃場と、それぞれの圃場の場所や経路を一致させることができた。

²²³ eTrex Venture HC と eTrex Legend HxC には、ウェイポイントの記録容量などに違いはあるが、受信機器面に差は無く、どちらも同じ精度の記録である。そこで本研究では、これら二つの GPS レシーバーを特に区別せずに分析を行う。

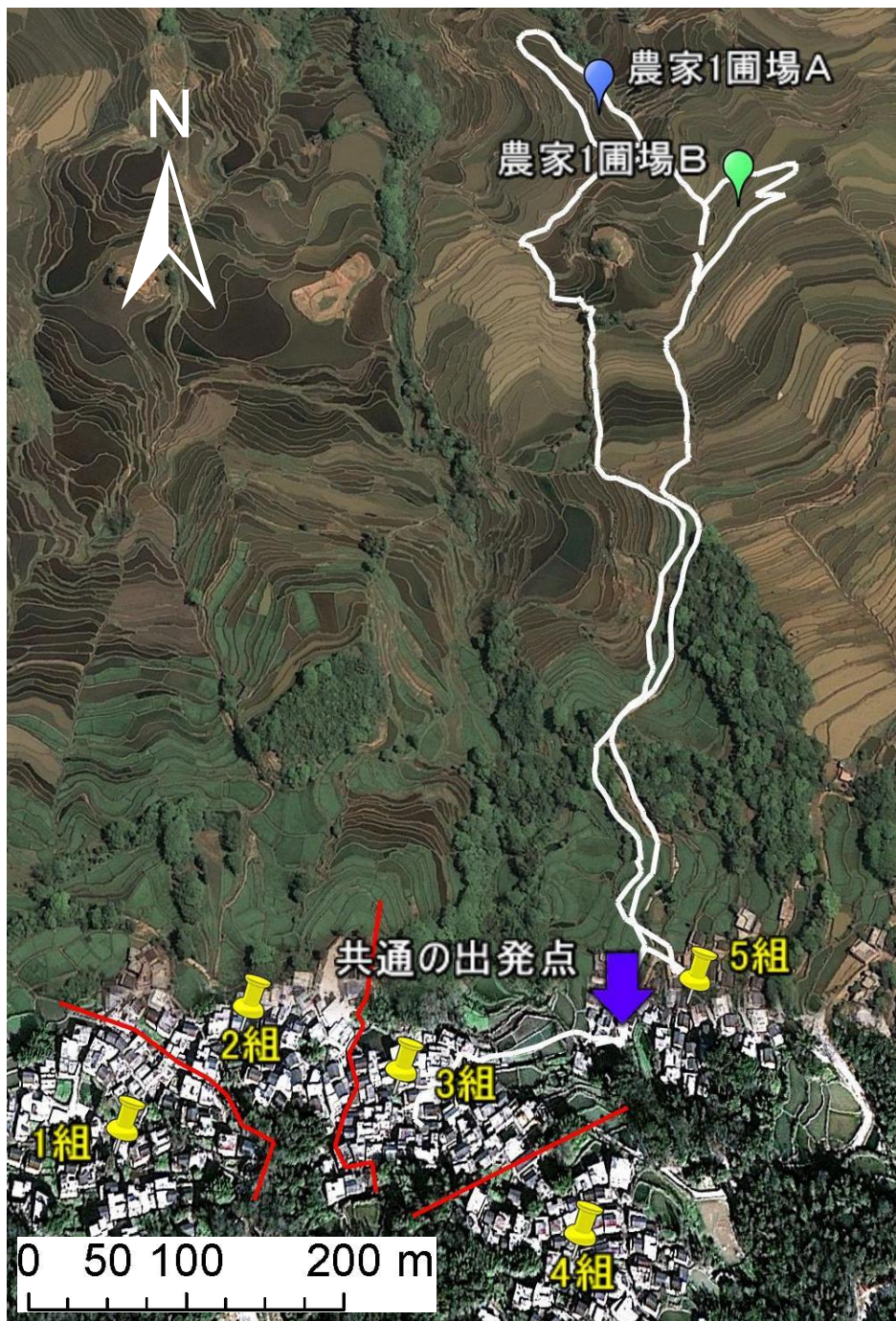


図 39 GPS による農家の圃場情報取得

出所：Google Earth (earth.google.co.jp/) より筆者作成

- 註： 1)青色の矢印で示されている地点は農家が圃場を巡る際の共通の出発点である。
- 2)白線が GPS で記録した農家の移動である。
- 3)集落は 1 組から 5 組まで組が分れており，赤線で仕切られるように居住区が異なる。

3) GPS による移動経路の推定と分析

本章では、農家の移動経路を実測しつつ、それをもとにした「道」を GIS 上に作成し、それをもとに、道路網も含んだ圃場分散の分析や換地の考察に適用可能な圃場 GIS データセットを新たに構築する。GPS を用いて道路図を作成するという先行研究はほとんど存在しないが、Schroedl et al. (2004)は、ある程度確定している道路上で、GPS の記録を用いて、各道路レーンの中心線の確定、交差点での通行ルート最適化アルゴリズムを組んでいる。ほとんどの GIS データは、予め道路データを与えられ、移動経路の選択においてのみ GPS データが用いられる。今回のように、GPS を利用して道の判別も含めて行う分析は極めて稀である。しかし、GPS データから人が歩く道を判別できれば、道路データのない地域における移動経路や所要時間を明らかにできる。また、GIS 道路データによって、効率的な圃場間の移動や作業順序の推計が可能となり、最終的には圃場の割り替えの最適化アルゴリズムを考察可能だと考えられる。

道路の特定にあたっては、個々の GPS で記録した経路線に 10m の幅を持たせ²²⁴、空間的な重複をカウントした。6 本以上の GPS 線が重なった（述べ 6 人以上の通行が確認された）線の中心を「道(ライン)」とする。そして全ての「道」をつないでいく際、圃場まで距離が 30m 以内に道が全く存在しない場合には、GPS での移動経路を継ぎ足して、新たな「道」を追加する。したがって、全ての圃場は「道」からの距離が 30m 以内となる。行き止まりを含む始点と終点のすべての点(ノード)に番号を振り、使用した農家と、ノード間の通過速度を記録する。

以上の手順により、GPS データを利用して、道のデータを作成した²²⁵。この道データは、Google Earth 上エクスポートし、重ね合わせることで、解像度の高い GeoEye の写真上で道のと GIS により算出した「道」に矛盾がないか確かめるというバリデーションを行い、実際の道との整合性が確認された。この手法を用いることによって、開発途上国の農村等で既存の GIS データが乏しい地域においても、土地や、圃場等の目的地間の交通アクセスや移動効率を正確に把握できると考えられる。

²²⁴ GIS 上で 10m バッファを作成している。

²²⁵ 手順の詳細は補論 2 を参照。

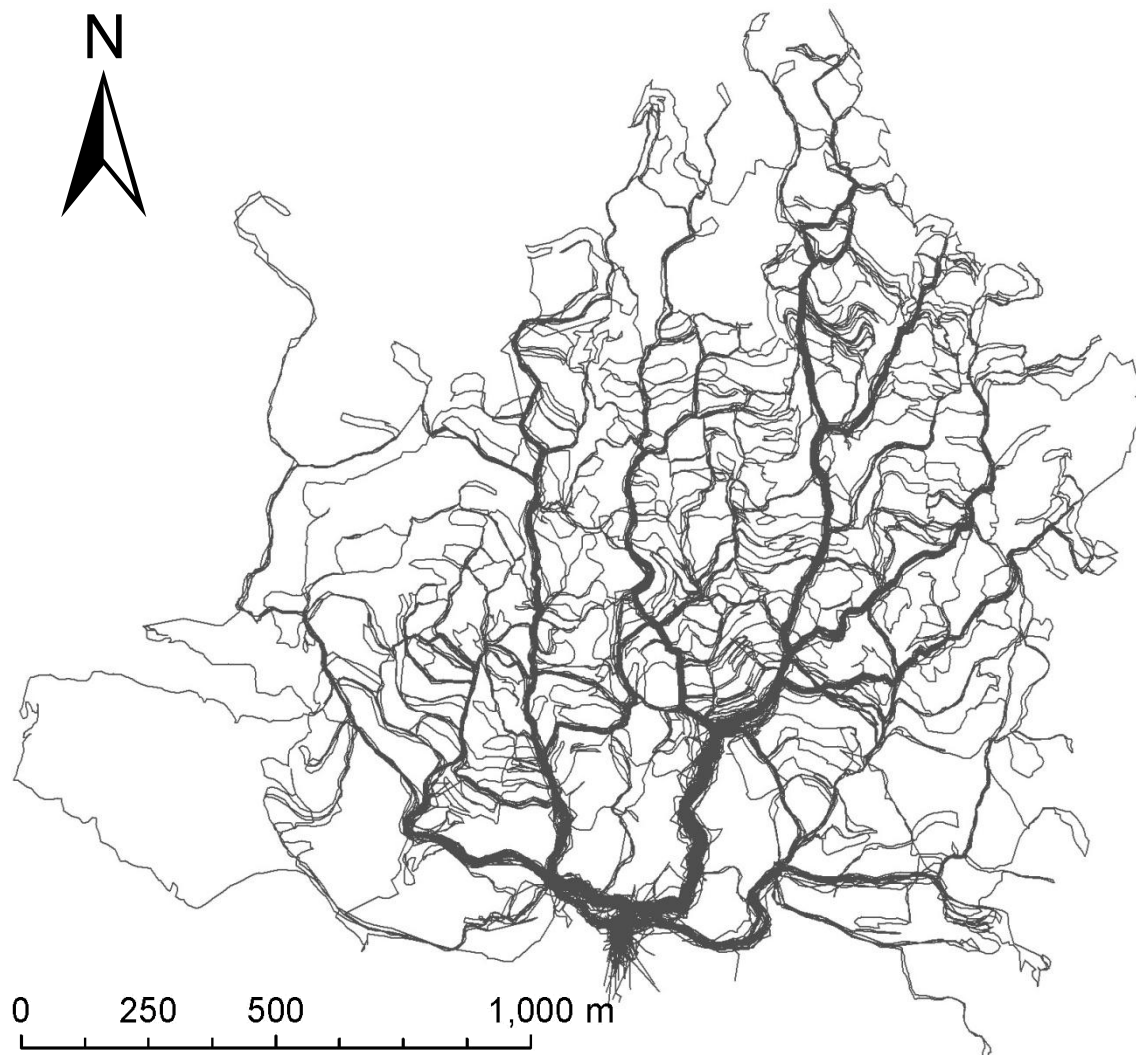


図 40 GPS による農家の全移動記録
黒線：GPS の記録

出所：筆者作成

註：誤差は基本的に 3~10m である²²⁶。

圃場分散や通作経路，農業生産の分析を行う前に，データセット作成から明らかになった圃場の特徴を記述する．図 40 は GPS により計測した全ての農家の移動経路である²²⁷．そこから，GIS を用いて道を抽出した結果が図 41 である．

²²⁶ 農家への GPS の貸出時には，誤差が±3m に収まるように調整している．しかし，途中で農家が林に入るなどして電波の受信状況が悪くなり，誤差が数 m~十数 m 増大する可能性はある．

²²⁷ 電波障害などによる GPS 記録のエラー部分は除去している．

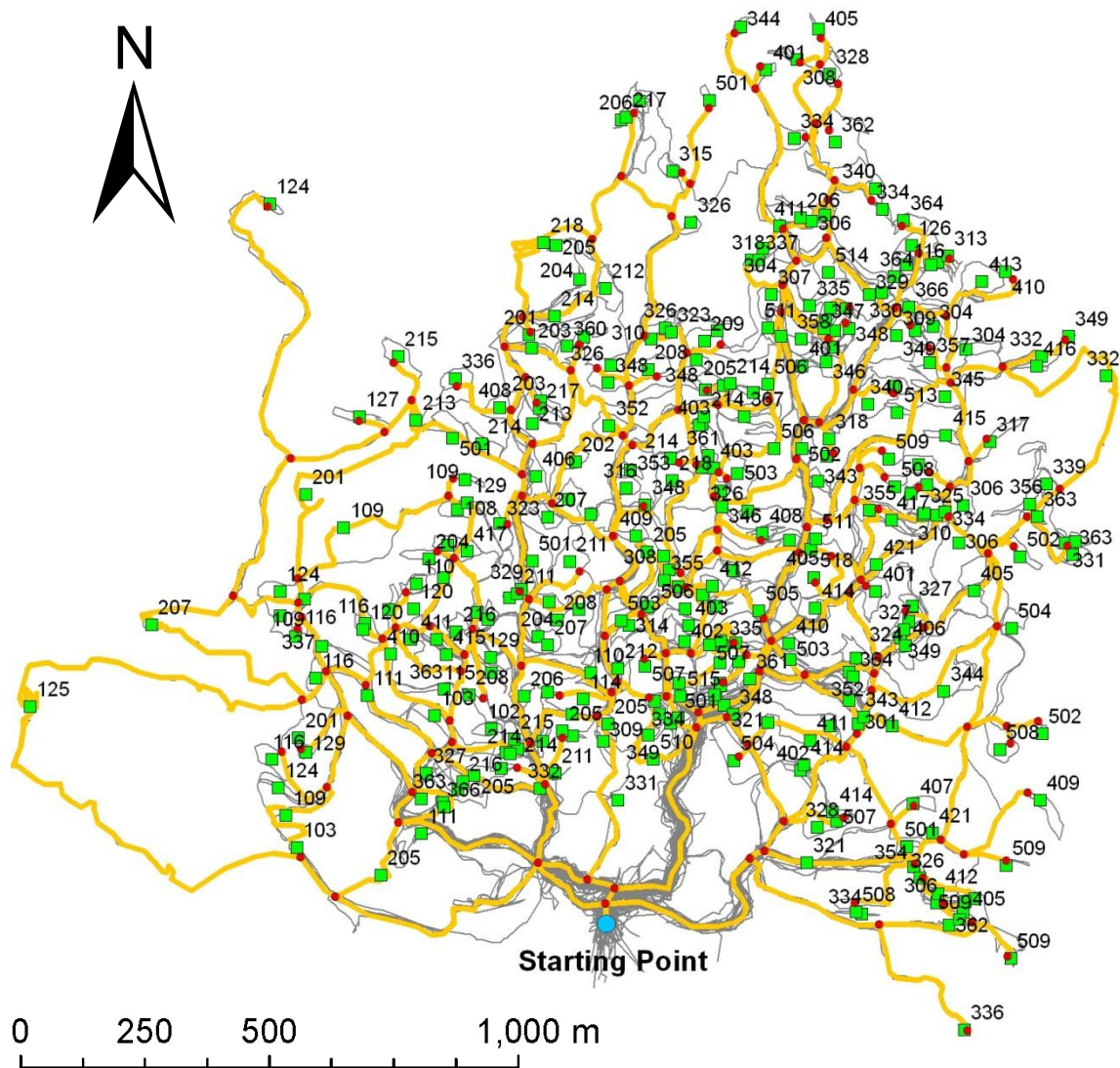


図 41 GPS による農家の道と圃場・ノード

緑色四角形：圃場の位置(数字は農家の ID) 肌色線：農家の通った道
 赤点：道の分岐点及び行き止まりの点(ノード) 水色の点：共通の出発点
 出所：筆者作成

註：誤差は 3~10m である。

緑色の四角が圃場の位置で，図中に記された数字は各圃場を耕作する農家 ID である．赤点が道の分岐点及び行き止まりの点(ノード)，肌色の線が「道」と判別されたライン，図中真ん中下にある水色の点で示されたノードが，全農家が通る共通の出発点である．

図 41 では，全ての農家が全ての農地に到達することができ，一つ一つの経路に農家が選択した道や移動の時間，ラインの長さや標高差といったデータが入

力されている²²⁸。これによって、それぞれの圃場までの道のりを計算する他、農家が圃場を巡った経路選択を、GIS 計算上の最短距離と比較することなどが可能となる。

²²⁸ 補論 2 を参照。

表 30 GPS で計測した農家の移動経路と GIS で計算した最短距離

実際に農家の歩いた経路

	総移動時間(分)	総移動距離(m)	移動速度(m/m)	移動速度(km/h)
平均値	83.72	3813.8	50.08	3.00
標準偏差	40.59	1160.9	12.59	0.76
		総移動コスト距離(=移動距離×√斜度)		
平均値				30578.1
標準偏差				9987.3
		総移動コスト2乗距離(=移動距離×斜度)		
平均値				69202.1
標準偏差				21299.5

GISにより計算した最短移動経路

	総移動時間(分)	総移動距離(m)	
平均値	66.31	3301.09	
標準偏差	8.38	967.04	
			最短距離比率(%)
			(=GISにより計算した最短距離/農家の選択経路の距離×100)
			92.13
			6.08
	総移動コスト距離		最短コスト距離比率(%)
平均値	23554.1		77.12
標準偏差	7882.1		8.35
	総移動コスト2乗距離		最短コスト2乗距離比率(%)
平均値	45836.0		65.33
標準偏差	16907.4		10.10

出所：筆者作成

表 30 は GPS で記録した農家の移動と、GIS で計算した最短ルートをもとめた結果である。まず、GPS による計測によって、農家が全ての圃場を巡る総移動時間は平均で 85 分、総移動距離は 3,800m にも上ることが明らかになった。この移動は、最大で約 1,500m から 1,900m までの 400m の標高差の移動も伴うものであり、収穫や施肥、農具の持ち運びでは大変過酷な労働を強いられると考えられる。調査結果から平均時速 3km ので圃場を移動していた。

さらに図 41 のデータを用いて GIS による最短経路を計算したのが表 30 下段「GIS により計算した最短移動経路」である。最短距離のみでは斜度や高さの差による移動労力のコストが十分に加味されていない可能性を考え、GIS を用いた交通網の分析で用いられ、移動ごとに斜度をコストとして換算する「コスト距離」による評価も試した²²⁹。また、「移動コスト 2 乗距離」とは、コストに

²²⁹ 第 2 章第 5 節を参照。

斜度の平方根ではなく斜度をそのまま移動に掛かるコスト指標に用いたものである。より重く斜度の効果を見積もった指標といえる。移動のコストとしてこちらが用いられるケースもあるので併せて使用した。移動距離、移動コスト距離、移動コスト 2 乗距離の三つを最小化したモデルをつくり、それぞれの農家の移動経路でも、移動距離、移動コスト距離、移動コスト 2 乗距離を算出し、結果を比較した²³⁰。

まず、単純な移動距離を比較してみると、GIS による最短距離と実測値の比率は 0.92:1 であった。農家の経路は平均で 1.085 倍の距離であり、最短経路と比較し 8.5%ほど遠回りしている。コスト距離の比率で見ると、最小のルートと比較して 0.77:1 と最小化した値からはかけ離れた結果となった。コスト 2 乗距離では 0.65:1 とさらに離れた数値となった。

図 43~図 45 は、移動距離、移動コスト距離、移動コスト 2 乗距離の三つの指標を最小化したルートと、農家の選択した経路の相関を見たものである。斜度を大きく加味した指標と比較するにつれ、相関が低くなるのが分かる。したがって、これら三つの指標の中では、農家の経路選択は移動距離を最小化するというモデルに最も近いといえることができる。

結果として、距離をそのまま最小化するモデルが最も現実と整合し、斜度が大きくなるにつれ現実の数値とは乖離することから、通常のコスト距離による GIS モデルでは、農家や人が足で移動する状況を考慮する際には、斜度を過剰に評価してしまう可能性が考えられる²³¹。その際、比率 0.92:1、相関係数 0.95 という最短距離による指標の再現度合が、高いか低いか、さらには、農家の適切な道判断能力の有無によるものであるのか、その他の要因（局所的に険しい道を選んでいる等）によるものであるのか、ここでは判断できない。

図 42 は縦軸に最短距離比率(GIS により計算した最短距離/農家の選択経路の距離)を取り、農家の ID 番号を横軸に図示したものである。図から分かるように、最低でも最短距離比率は 0.75 程度であり、0.8 を下回るものは 110 件中 5 件のみである。最短距離比率が 1.0 であるもの、つまり 100%の最短ルートで道を選択している農家も 9 件存在する。このように、農家の移動経路に違いが見られることについて、本節の以下でその要因を分析した。

²³⁰ 補論 2 の 4)を参照。

²³¹ ただし、本研究で使用した斜度データは基本的に ASTER GDEM の 30m×30m 区画のデータを使用しているので、そのデータの粗さが結果に悪影響を及ぼしている可能性もある。

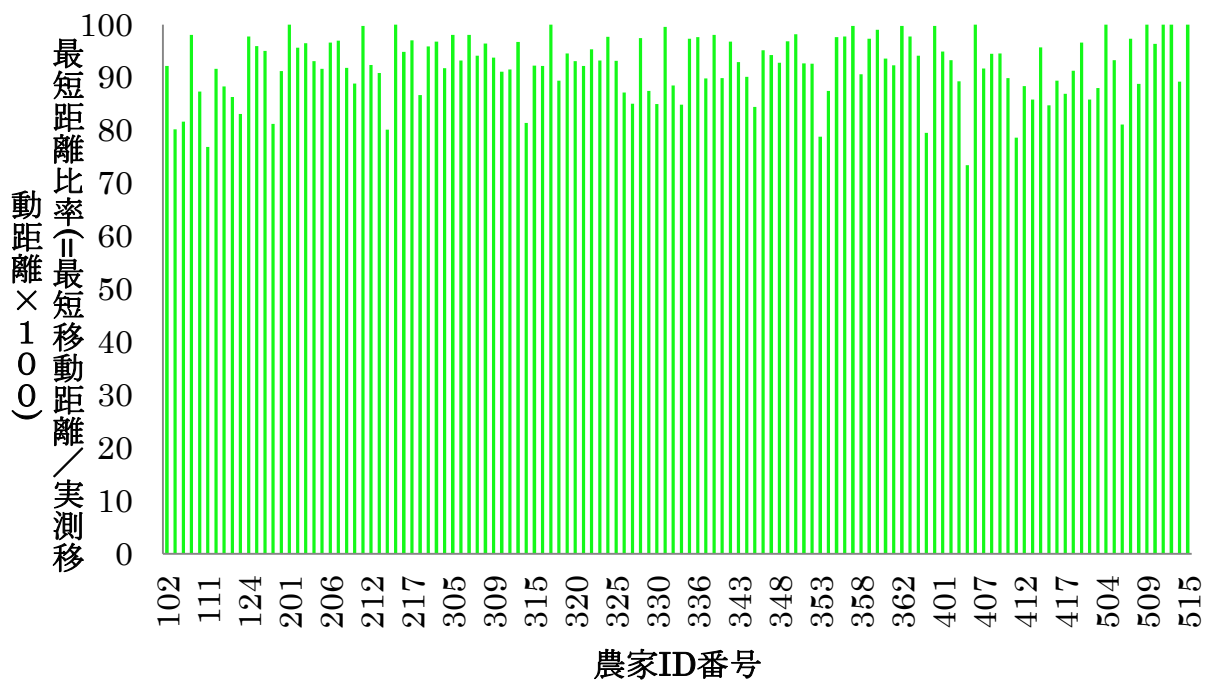


図 42 農家の移動経路選択

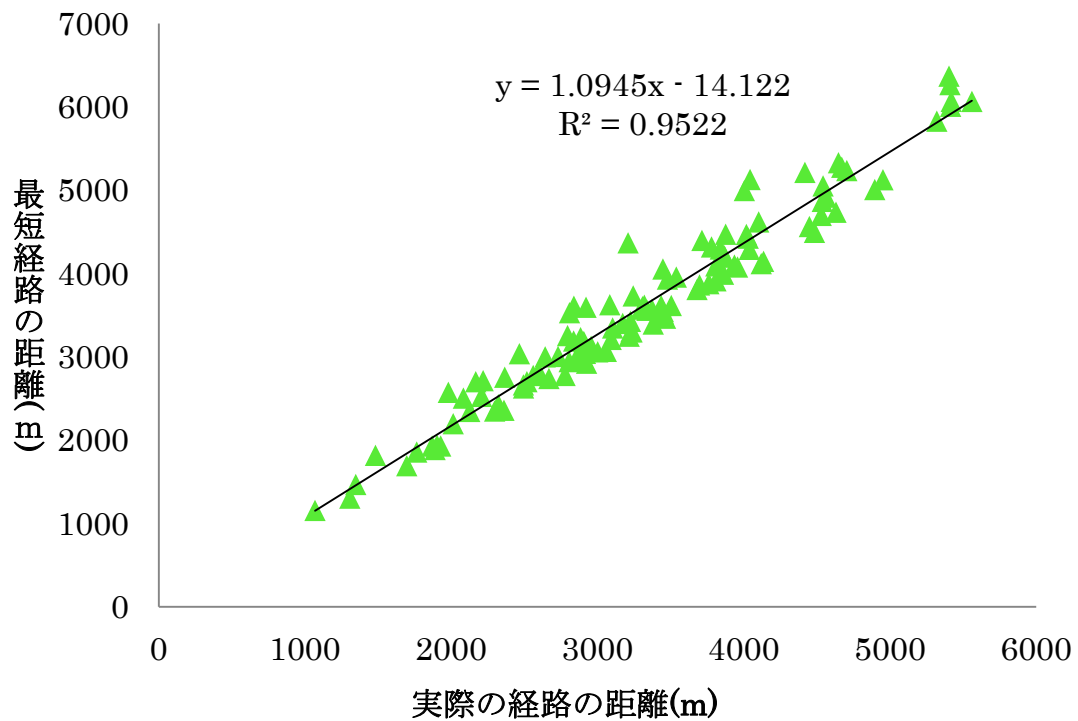


図 43 農家の経路選択と GIS 最短経路の相関

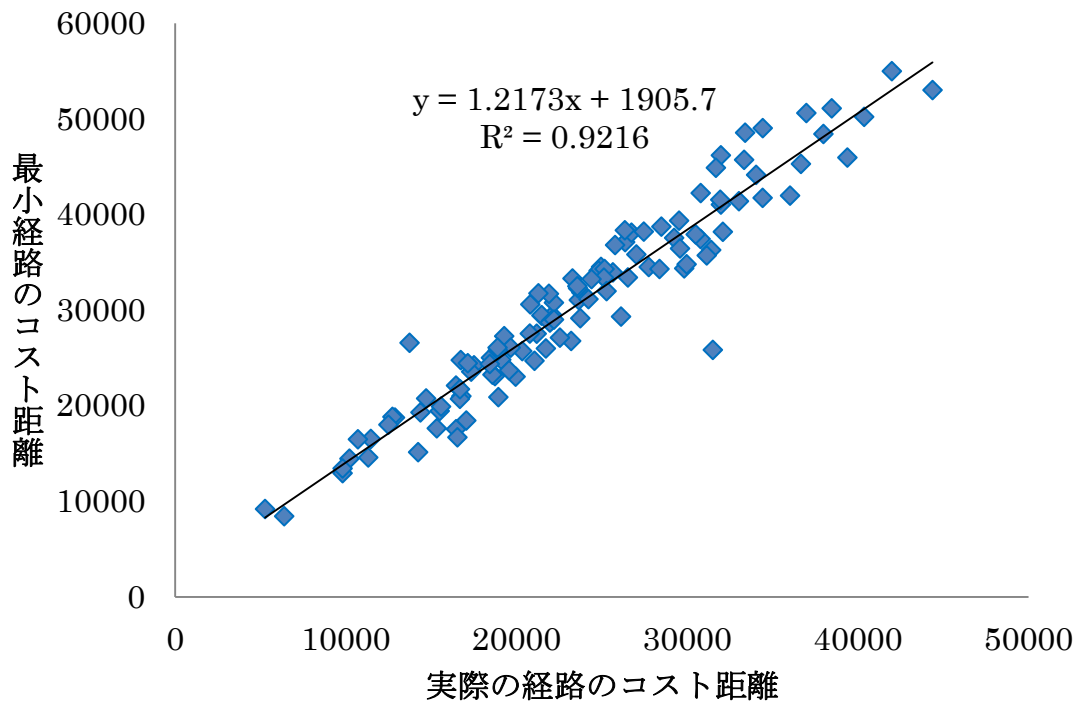


図 44 農家の経路選択と GIS 最小コスト距離経路の相関

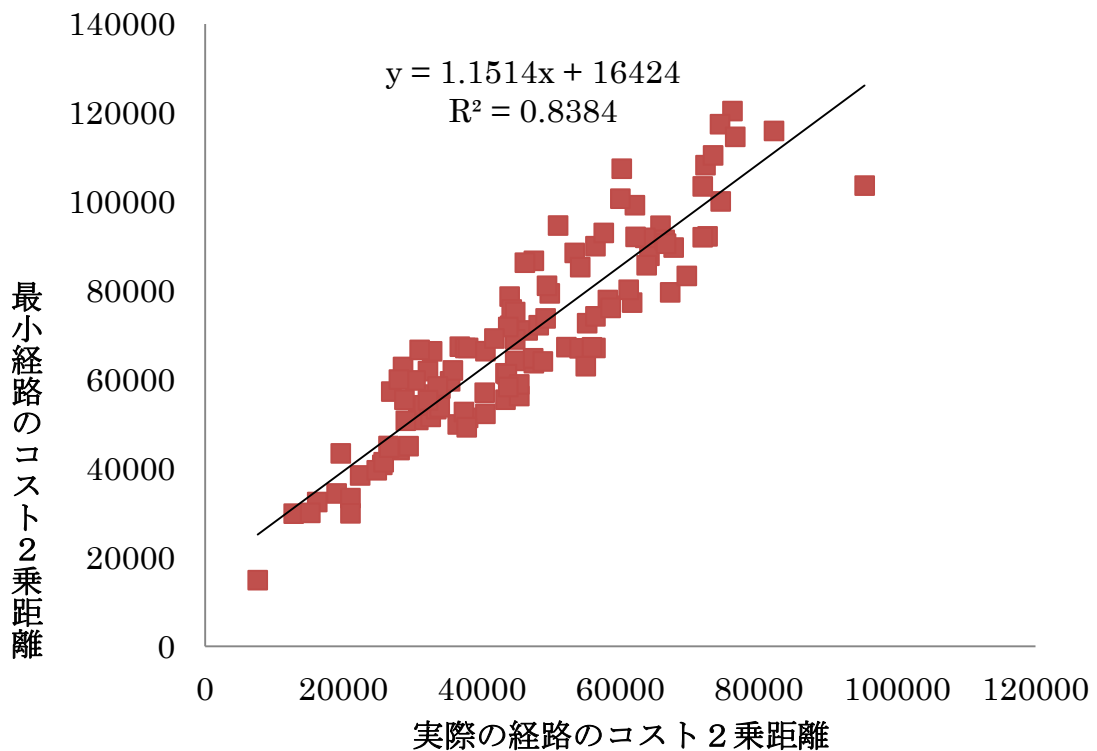


図 45 農家の経路選択と GIS 最小コスト 2 乗距離経路の相関

出所：筆者作成

表 31 経路選択の最短距離比率と農家の圃場属性の相関

相関関数 p値	各圃場の農地の 各圃場					
	最短距離 比率 (%)	圃場の 筆数	各圃場の 道のり平均 (m)	中心点からの 直線距離平均 (m)	各圃場 までの 斜度の平均 (°)	戸主の就学の 年齢 有無 ダミー
最短距離比率(%)	1					
圃場の筆数	-0.250*** 0.007	1				
各圃場の 道のり平均(m)	0.248*** 0.008	-0.192** 0.040	1			
各圃場の農地の 中心点からの 直線距離平均(m)	-0.0074 0.938	0.141 0.136	0.307*** 0.001	1		
各圃場までの 斜度の平均(°)	0.173* 0.066	-0.123 0.189	0.479*** 0.000	-0.391*** 0.000	1	
戸主の年齢	-0.065 0.494	0.180* 0.055	-0.0683 0.471	-0.0174 0.854	-0.0744 0.432	1
就学の有無ダミー	0.097 0.304	-0.048 0.613	0.0888 0.348	0.0783 0.408	-0.0789 0.404	-0.1 0.279

表 31 は、農家の経路選択における最短距離比率に対して、農家の保有する圃場属性との関係を見たものである。圃場の筆数が多いほど、または、出発点から各圃場への距離の平均が延びるほど、経路の選択は複雑になり、最短距離で巡ることは難しくなると考えられる。最短距離比率と圃場の筆数には弱い負の相関が見られた。しかし、各圃場への距離の平均は最短距離比率と弱い正の相関があった。

また、集落の農地の中でも外れた場所にある圃場を持つ農家は最短距離で巡ることが難しくなる可能性を考え、中心点からの直線距離を比較したが、特に相関は見られなかった。次に、各圃場までの斜度が大きな農家が、斜度の大きな経路を避けて最短の経路と異なる経路を選択することを考え、圃場までの道のりの平均斜度との相関をみた。最短距離比率と平均斜度の間にはむしろ弱い正の相関があり、圃場まで斜度が大きい農家が、傾斜が激しい最短の経路を避けているというわけではないと考えられる。経験や能力との関係を調べるために戸主の年齢、就学の有無も相関を調べたが、それらの変数の間に相関は見られなかった。ここでは、経験や能力によって経路の選択が異なるという根拠は見出せない。

表 32 経路選択が最短距離に近い農家と遠い農家での
農家属性と圃場属性の差の検定

	全農家 の平均	最短距離比率が 9割以上の農家 の平均	最短距離比率が 9割未満の農家 の平均	最短距離比率が 9割以上・9割未満 の農家間での 差の検定p値 (両側t検定)	
圃場の筆数	2.50	2.29	2.95	0.025	**
各圃場の 道のり平均(m)	1159	1184	1104	0.126	
各圃場の農地の 中心点からの 直線距離平均(m)	499	486	524	0.127	
圃場までの 斜度の平均(°)	9.78	10.84	9.23	0.014	***
戸主の年齢	53.15	51.99	55.84	0.175	
就学の有無ダミー	0.43	0.47	0.32	0.063	*
サンプル数	114	77	37		

注：最短距離比率が9割以上の農家(経路選択が最短距離に近い農家)とは、(GISによる最短経路の距離/農家の選択経路の距離 ≥ 0.9)となる農家を指す。最短距離比率が9割未満の農家(経路選択が最短距離と遠い農家)とは、(GISによる最短経路の距離/農家の選択経路の距離 < 0.9)となる農家を指す。

表 32 では、経路選択が最短距離に近い農家(最短距離比率(GISによる最短経路の距離/農家の選択経路の距離) ≥ 0.9)と、そうでない農家(最短距離比率(GISによる最短経路の距離/農家の選択経路の距離) < 0.9)に農家を2グループに分け²³²、農家及び各選択経路の差を検定した。これ以降、最短距離比率 ≥ 0.9 の農家を「最短距離比率が高い農家」、最短距離比率 < 0.9 の農家を「最短距離比率が低い農家」と呼ぶ。

表 32 において、農家の所有する圃場の地理的特性には、有意な差が確認された。まず、最短距離比率が高い農家(左側)と最短距離比率が低い農家(右側)の所有する圃場の筆数はそれぞれ平均 2.3、平均 2.9 個と、最短距離比率が高い農家の方が圃場の平均筆数が少なかった。圃場の筆数が多いほど、最短距離で圃場

²³² 最短距離での経路と異なる経路を選ぶ集団、及びその集団が使用する経路を取り出す目的で分けた。基準を 0.9 とした理由は、0.8 を基準とした場合は 5 サンプル、0.85 を基準とした場合は 15 サンプルと、比率が高いサンプルと低いサンプルで数に大きな偏りが生じ、0.9 ならば平均値である 0.92 を下回り、少なくとも 10% は最短距離と異なる上でサンプル数が 37 あるため、差の検定等の分析が行いやすいと考えられたためである。

を巡ることが困難になると考えられるのである。出発点からの道のりは、比率 0.9 でグループを分けた検定では有意な差は見られなかった。圃場の中心地点からの距離は、最短距離比率が高い農家で平均 486m、低い農家で平均 524m と、最短距離に近い農家の方が平均的に中心から近い結果となったが、ただし統計上有意な差は確認されなかった。圃場までの道のりの平均斜度を見てみると、最短距離比率が高い農家は、平均 10.84°、最短距離比率が低い農家は平均 9.23° であり、統計上も有意な差が確認された。また、戸主の学歴の有無等にも統計的な差は見られなかったが²³³、就学有無のダミー変数の平均値は、最短距離比率が高い農家の方が 10%有意水準で高いといえた。平均約 10°、1km の道のりを毎日往復しなければならない対象地域においては、農家は長年の道の往来経験から最適なルートを見い出し、できるだけ効率的に疲れないように通作していることが考えられる。しかし、この結果から、就学有無が空間認識能力や学習能力に関係している場合には、最短距離比率の高い/低い農家間には、経路選択の判断能力に差があるという可能性も存在する。

²³³ 生産量や家族労働、肥料投入といった生産の指標も併せて比較したが、統計上の有意な差はなかった。

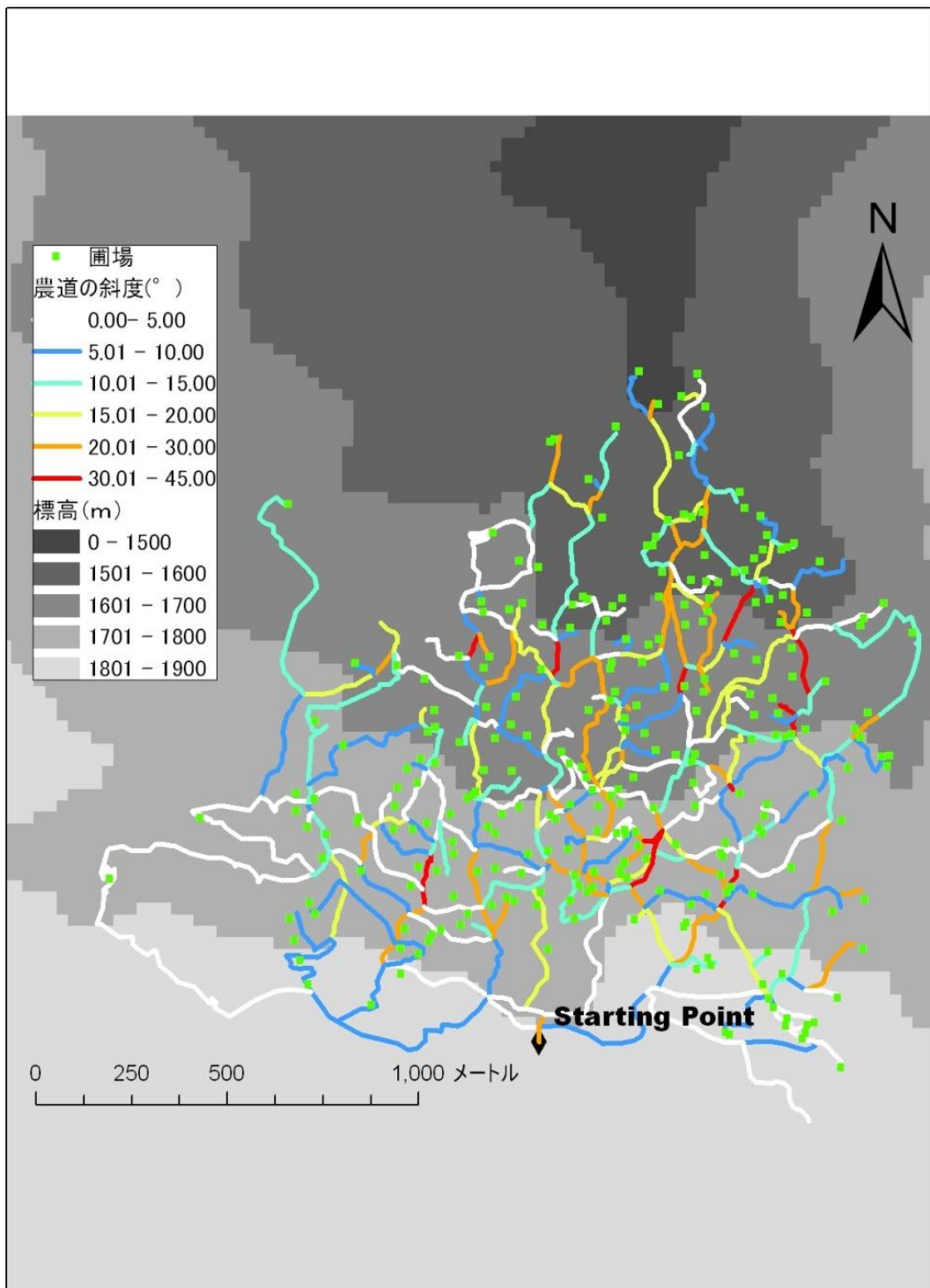


図 46 圃場分布と道の斜度(°)

出所：筆者作成

次に、農家の属性や所有する圃場全体ではなく、道それぞれについて分析を行った。図 46 は道の斜度を色付けし、その分布を明らかにしたものである。図 46 から、道によって大きく斜度は異なり、また、右寄り中央に斜度の高い道が位置することが分かる。各経路の統計をまとめたものが表 33 である。経路はもともとの道路だけではなく、農家の移動の結果として道とされたある種の「けもの道」（実際には圃場沿いの畦畔）のようなものも含まれており、長さや斜度は様々である。

交差点で区切られる経路の長さは平均して 138m ほどとなっている。標高差は 15m、平均斜度は 13°とかなり勾配が急であることが分かる。短い経路の方が斜度は高い傾向にあるので、13°という全経路の平均斜度は、圃場までの道のりの斜度と比較すると大きな値となっている。各経路の平均的な使用回数は 7 回である。かなり細かく分かれているため、全経路のうち任意の一つの経路が使用される確率は 0.18% である。上りの経路が使用される確率は 0.10% であり、下りよりも使用された経路が多いことが分かる。上りの平均通過時間 198 秒であり、下りは 166 秒で、平均移動速度はそれぞれ 2.73km/h、3.32km/h となっている。平均して、上りの時には下りの 79% 程度の速度になる。

これらの全 526 の経路において、最短距離比率が高い農家（GIS による最短経路の距離/農家の選択経路の距離 ≥ 0.9 ）がより多く選択する経路と、最短距離比率が低い農家（GIS による最短経路の距離/農家の選択経路の距離 < 0.9 ）がより多く選択する経路を分け、比較したものが表 34 である。ここで、最短距離比率が高い農家がより多く選択する経路とは、（農家の最短距離比率が 0.9 以上の農家における使用頻度 -0.9 未満の農家における使用頻度 > 0 ）という経路であり、最短距離比率が低い農家がより多く選択する経路は、（農家の最短距離比率が 0.9 以上の農家における使用頻度 -0.9 未満の農家における使用頻度 < 0 ）である。表 34 では、利用した経路の長さ、通過速度の平均値、標高差、斜度、圃場の中心の距離、経路の使用されている回数について、それぞれ比較した。

統計的に有意な差があったのは、斜度と経路の使用されている回数である。まず、斜度について、最短距離比率が高く経路が最短距離に近い農家では平均 15°、最短距離比率が低い農家では平均 12°である。これは、最短距離より遠回りの経路を多く選択した農家が、斜度の低い経路をより多く使用しているといえる。局所的に斜度の大きな経路を避けたために、最短経路との乖離が大きくなったことが考えられる。しかもここで斜度の差は上りよりも下りでより大きくなっており、遠回りになっても斜度の大きな下り道を避けていたことが見てとれる。この結果を踏まえつつ、表 32 を再度考えてみると、遠回りになっても、斜度の大きな経路を避けて、斜度の少ない経路を選択していく姿が浮かんでくる。

さらに、最短距離比率が高い農家は、他の農家の使用回数が多い経路を通行し、最短距離比率が低い農家は、使用回数の低い経路を通行している事実が明らかになった。使用回数の差は非常に大きく、最短距離比率が高い農家が使う経路の平均使用回数は10回、最短距離比率が低い農家が使う経路の平均使用回数は5回と2倍ほどの開きがある。

そこでその選択経路の差を図示したものが図47である。図47は、以上の2グループでの、それぞれ利用頻度の差が大きい上位60の経路を図示している²³⁴。図47に表されるように、最短距離比率が高い農家は、圃場全体の東西の広がりに対し中心近く縦に伸び、かつ多くの農家が通る経路を使用している。対して、最短距離比率が低い農家は、横に伸び脇道にそれた経路を多く使用している。一般の道路でも交通渋滞などに観察されるように、本研究で作成した「道」も、最短経路であり最も早く目的地にたどり着ける経路は、多くの人が利用する経路でもあると考えられる。

図48~図53は圃場までの斜度とそれぞれの経路の使用者数を図示したものである。第2組と第3組の農家が多く使用する経路は、最短距離比率の高い農家使用する経路と近い傾向がある。これらの組の圃場は、南北に伸び、東西の中心にまとまっているようである。

以上、本研究対象地域は勾配が急であるために、農家は時に傾斜が低い経路を選び、結果として遠回りしている場合があることが明らかになった。また、使用する人の多い経路が最短距離であることが多いことも確認された。傾斜の低い経路及び使用者の少ない道の選択は特定の個人の判断に寄るところが多く、今後さらなる経路選択要因の特定が課題であるといえる²³⁵。その際、農家の認知能力も含めて、GISを利用した認知地図の研究も参考になると考えられる²³⁶。

課題の一方で、本研究では、調査対象が地図を読んだことない場合や、学校教育を受けたことが無い場合でも、GPSデータに基づく映像をもとに自分の通行した経路を確認できることが示された。それによって、元々全く道情報の無い地域で、住民が実際に使用する道を特定し、通行時間やその使用頻度を明らかにしている。本研究の枠組みは、データが整備されていない開発途上国での調査の可能性を高めうると考えられる。

²³⁴ (農家の最短距離比率が0.9以上の農家における使用頻度-0.9未満の農家における使用頻度)の正負で判断した。

²³⁵ 戸主の年齢と経路選択にも相関は見られていない。また、使用者の少ない道の選択については、農村の畦道は渋滞もなく、日頃の利用者が多い方が道が馴らされ通行もしやすいと考えられる。それにもかかわらず使用者の少ない道を選択することがある圃場位置以外の理由については、本研究では見出すことはできなかった。

²³⁶ Liu et. al. (1999), Montello(2002)等を参照。

表 33 ノードに仕切られた各経路の記述統計

	長さ(m)	標高差(m)	斜度(°)
平均	138.31	15.54	13.35
標準誤差	5.86	0.60	0.39
標本数	526	526	526
	使用回数	使用率(%)	登りの使用比率(%)
平均	7.39	0.18	0.10
標準誤差	0.73	0.01	0.00
標本数	526	526	526
	登り平均通過時間(秒)	下り平均通過時間(秒)	平均通過時間(秒)
平均	198.68	166.38	182.27
標準誤差	187.69	199.12	193.78
標本数	269	243	524
	登り平均速度(km/h)	下り平均速度(km/h)	平均速度(km/h)
平均	2.73	3.32	3.00
標準誤差	1.33	1.79	1.58
標本数	269	243	524
	登り対下り速度比(%)		
平均	0.79		
標準誤差	0.33		
標本数	226		

註：道を通ったことは GIS 上で確認されたものの、通行者の著しいラインからの逸脱などで正しく時間が計測できていないと考えられた経路 2 本は、通過時間と通過速度を計算していない。

表 34 最短距離を選択する比率が高い農家と
比率が低い農家における選択した経路の差

	最短距離比率 が9割以上 (最短距離 /農家の選択距離 ≥0.9)	最短距離比率 が9割未満 (最短距離 /農家の選択距離 <0.9)	両側t検定 p値	
長さ(m)	127.18	128.71	0.886	
登り長さ(m)	131.08	138.03	0.692	
下り長さ(m)	116.07	128.40	0.311	
速度(km/h)	2.928	3.079	0.290	
登り速度(km/h)	3.265	3.354	0.694	
下り速度(km/h)	2.622	2.839	0.235	
標高差(m)	15.92	13.94	0.111	
登り標高差(m)	14.51	14.43	0.952	
下り標高差(m)	15.31	13.21	0.216	
斜度(°)	14.75	12.43	0.007	***
登り斜度(°)	14.51	12.53	0.097	*
下り斜度(°)	14.99	12.08	0.019	**
中心からの距離(m)	500.17	493.56	0.768	
登り中心距離(m)	505.17	496.61	0.784	
下り中心距離(m)	494.71	490.45	0.895	
使用回数	9.888	5.139	0.001	***
登り使用回数	9.400	5.458	0.013	***
下り使用回数	10.444	4.792	0.002	***
サンプル数	251	251		
登りサンプル数	126	127		
下りサンプル数	121	124		

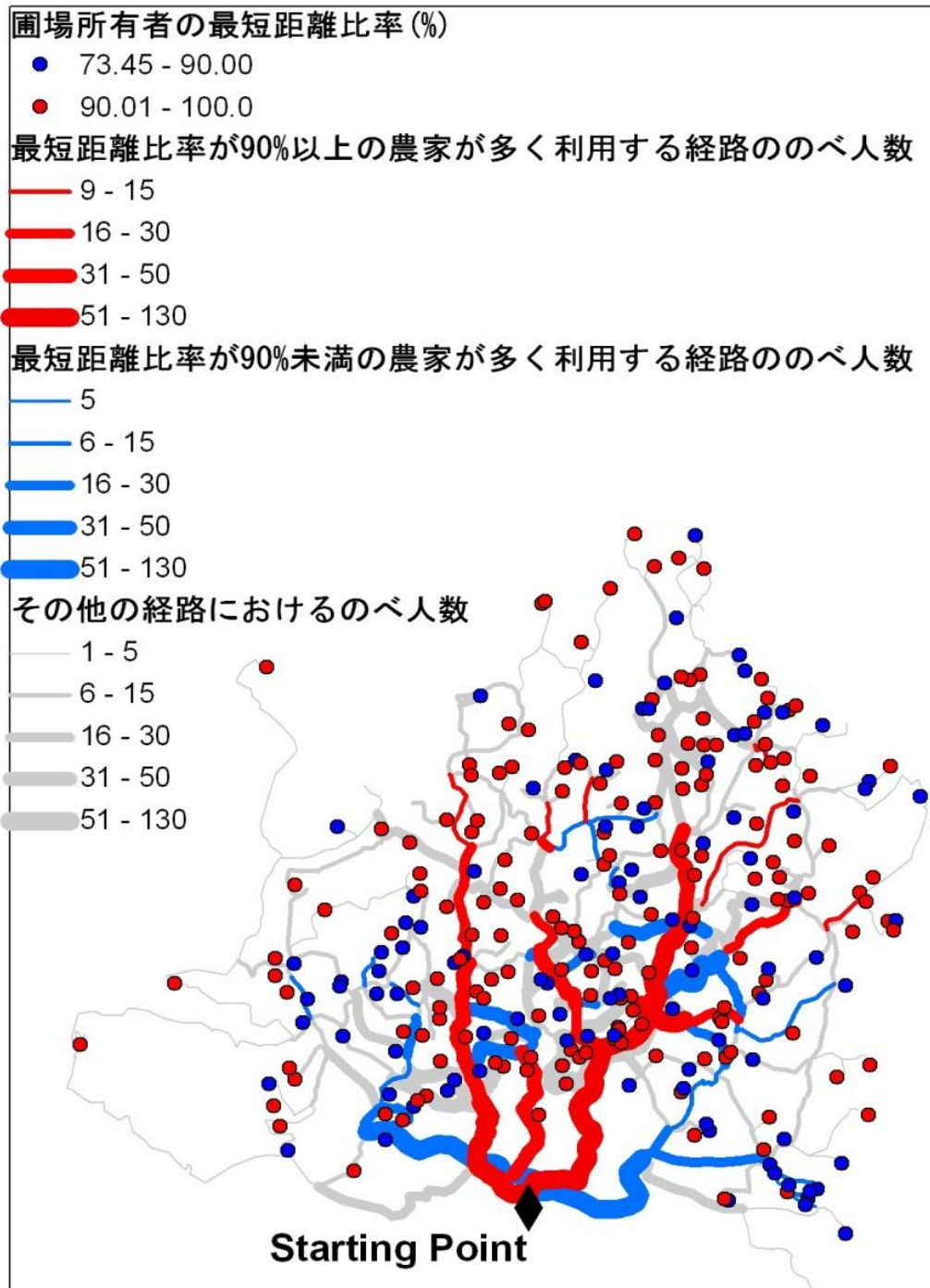


図 47 最短距離比率が高い農家と低い農家の利用する経路

出所：筆者作成

- 註：1) (農家の最短距離比率が 0.9 以上の農家における使用頻度－0.9 未満の農家における使用頻度)を算出しその値の上位 60 と下位 60 を抽出した。
- 2) 上り下りの重複を含めるために実際に図 47 で実際に見られる差の大きな経路の本数は 60 本より少ない。

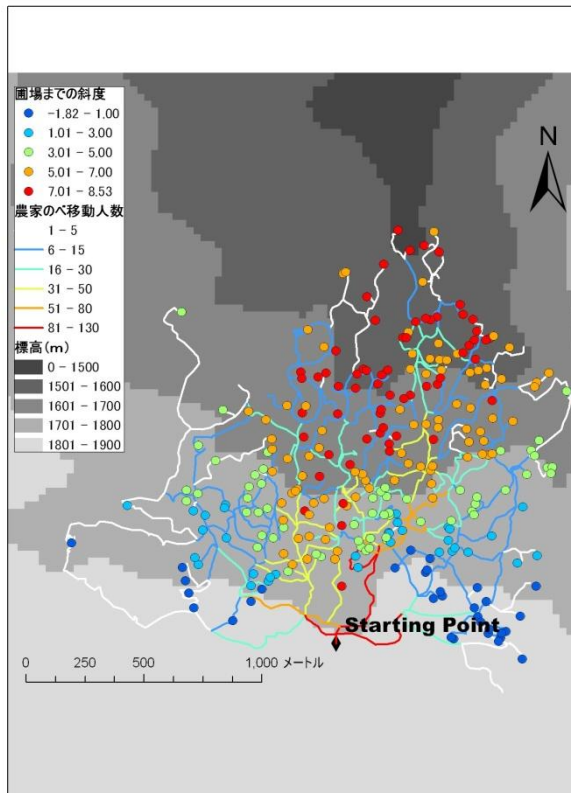


図 48
圃場までの斜度と経路利用人数
出所：筆者作成

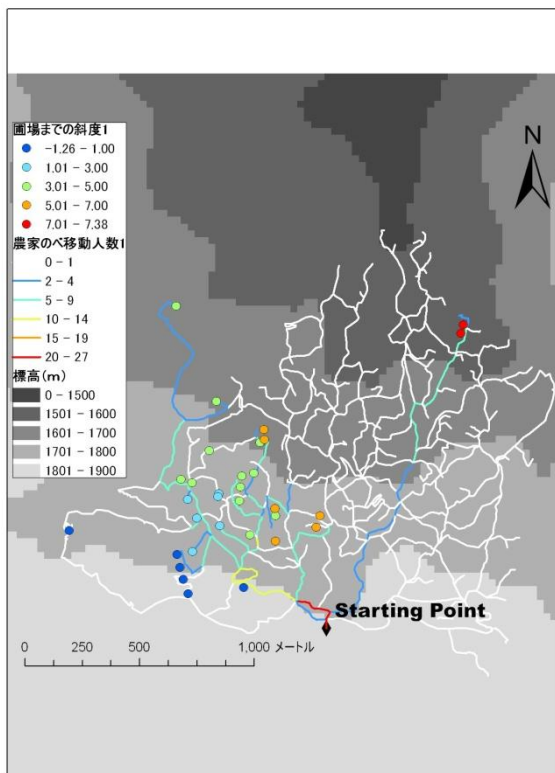


図 49
斜度と利用人数(第1組)
(15戸)

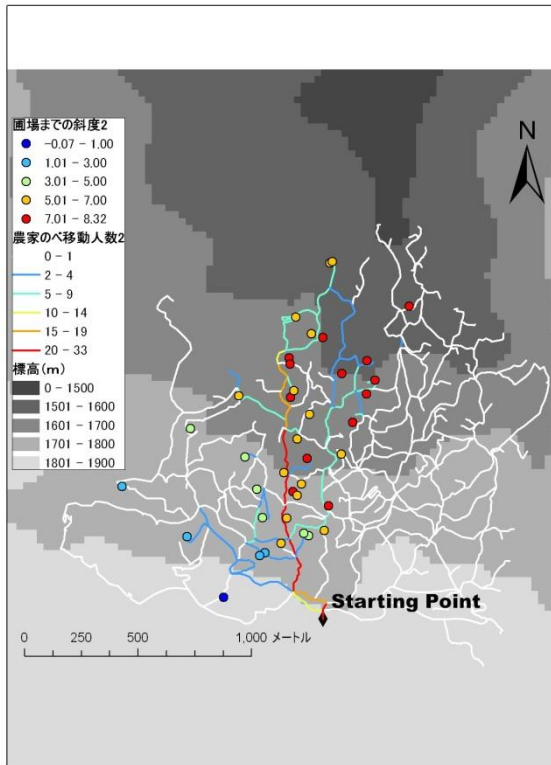


図 50
 斜度と利用人数(第 2 組)
 (16 戸)

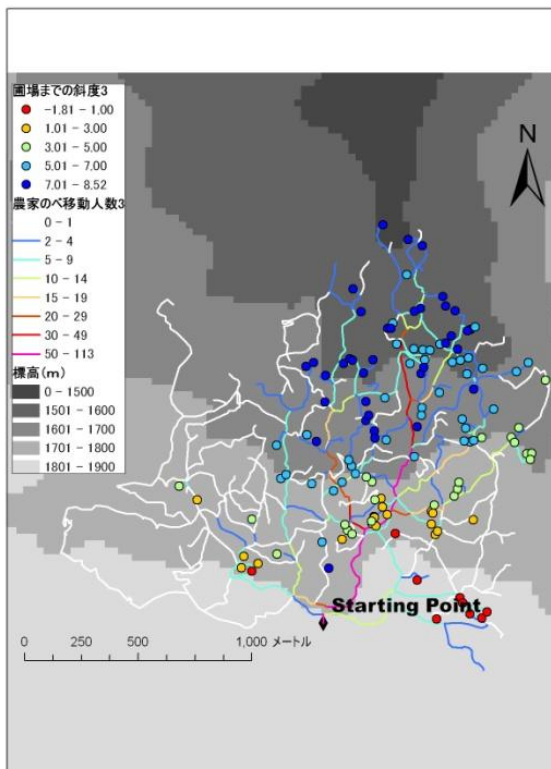


図 51
 斜度と利用人数(第 3 組)
 (54 戸)

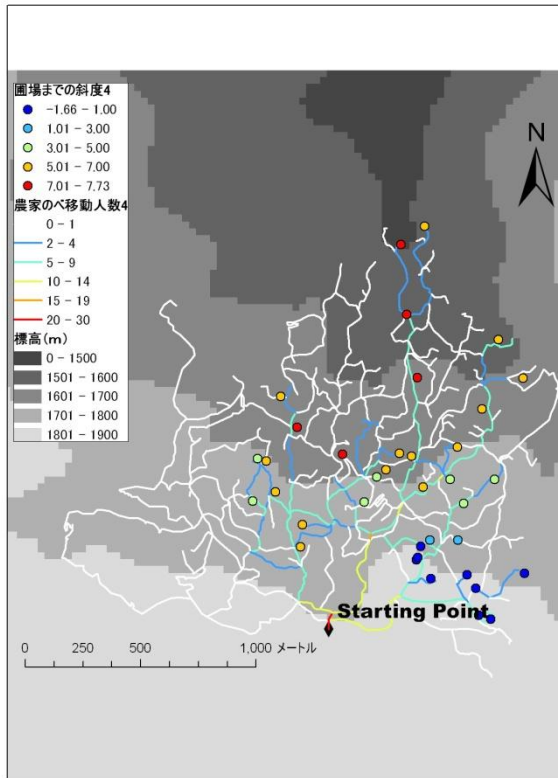


図 52
斜度と利用人数(第 4 組)
(15 戸)

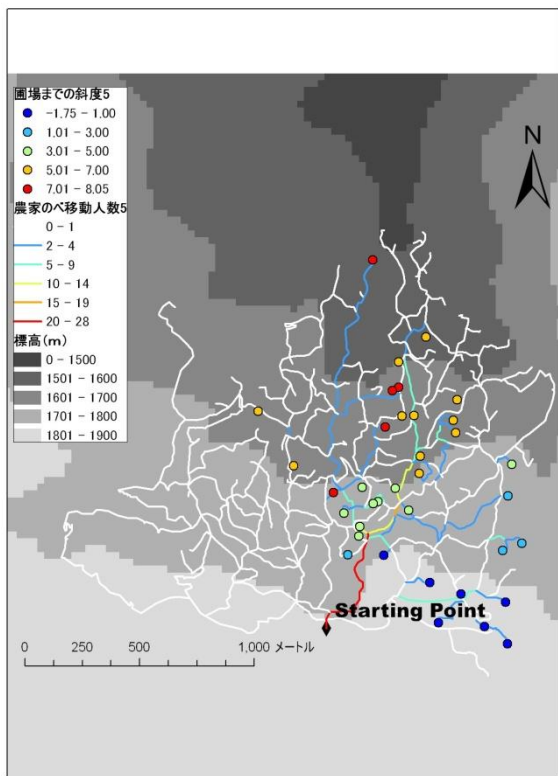


図 53
斜度と利用人数(第 5 組)
(14 戸)

第3節 圃場分散による生産影響の経済分析

1) 分析対象農家データ

第2節のように圃場と農道の分布を確定させたいので、農家の経済行動についての分析を行う。農家の記述統計が表35である。表35の上段は農家の属性、下段は圃場毎の属性であり、114件の農家と271圃場の属性の平均と標準偏差を記述している。

労働力数は、家計で基本的に農業労働に従事している者の人数を指す。平均の家族の労働数は4.6人と多いが、若い男性の多くは出稼ぎを行っている。農薬や肥料の平均投入費用は317元であり、ほとんどの農家は化学肥料と農薬を利用している。圃場の標高は平均1,700mほどと非常に高く、集落では水稻以外の生産は困難になっている。

土地の貸借ほとんど行われておらず、怪我や病気等のショックあった際に親戚間で行われる程度である。農家の労働は、収穫や耕起の他に、日々の水路の見回りや雑草防除等を行い、主に主食用としての米を確保している。

対象集落における農家は、平均2.38の筆数の圃場を有している。所有する圃場筆数のばらつきは比較的大きく、最大で9つの零細な圃場を持つ農家も存在する。第2節で見られたように、対象地域の集落は非常に農地の分散が著しく道が険しいため、通作が営農上の大きな負担となっている。圃場までの道のりは平均1,100m以上になるなど、集落と圃場間の距離は大きく離れている。圃場までの斜度は10°近く、毎日斜度10°、道のり1km以上の通作を行うことは重労働となっており、集落の若者が農作業を忌避する要因にもなっている。

村では、1983年生産請負制が導入され農地が1人ずつに分配された。生産請負制の導入の中で1980年～1984年の間に3回土地の割換えが行われたが、それ以降は現在まで不変である。割換えは人口の増減に応じて行っていたが、死亡や結婚による他出によって生じた余った土地をめぐる争いが起こったため、1984年以降は人口が増減しても土地は不変としている。

非農業部門での労賃は1日あたり50元の収入で、農業による収入より大きいとされる。表35では村外出稼ぎ収入や農外収入はそれぞれ3800元、2200元程度となっているが、調査対象者は全ての出稼ぎ収入を把握しておらず、過小に回答している場合もある。

対象集落の生活は貧しく、農家では自給用の米は自家生産し、現金支出を抑え、時に米を販売することも欠かせない。粳米500gあたり1元と米の販売価格は高くないが、聞き取り調査によれば、米生産量をすべて販売用として計算する

と、一戸あたり平均4923元の収入となる²³⁷。これは農民にとって相当な金額であり、道のり1km以上の通作を毎日行って棚田を管理するのは、最低限の棚田の維持のためではなく、よい高い収量を目指して農作業を行っているという実態が想定される。

²³⁷ {(1 アールあたりの総収入:1元×48.9kg) ×65.3a-(農家一戸の総費用:1434元)=4923元}

表 35 調査集落の記述統計

		農家の属性	農家数114
		10aあたり生産量(kg)	戸主の就学の有無
平均値	489.11		0.43
標準偏差	247.81		0.50
		家計あたり耕作面積(a)	家の壁質・コンクリート
平均値	65.28		0.38
標準偏差	52.28		0.49
		肥料・農薬投入量(元)	家の壁質・土
平均値	316.27		0.30
標準偏差	248.75		0.46
		家族労働力数	一農家あたり圃場の筆数
平均値	4.59		2.38
標準偏差	3.36		1.39
		家計人数	シン普森インデックス
平均値	8.48		0.48
標準偏差	7.51		0.23
		村外出稼ぎ収入	平均移動速度(km/h)
平均値	3770.0		3.00
標準偏差	5552.2		0.76
		農外収入	最短距離の比率(%) (GISの最短距離／農家の選択距離)
平均値	2174.3		92.13
標準偏差	4118.3		6.08
		戸主の年齢	全ての圃場への通作所要時間(分)
平均値	53.2		83.72
標準偏差	14.0		40.59
		圃場の属性	圃場数271
		圃場面積(a)	標高(m)
平均値	27.30		1701.61
標準偏差	32.85		86.49
		圃場あたり肥料・農薬投入量(元)	圃場への直線距離(m)
平均値	134.21		858.71
標準偏差	155.80		345.18
		圃場までの斜度(°)	圃場への道のり(m)
平均値	9.79		1141.77
標準偏差	3.33		397.73

出所：筆者作成

註：生産量は籾米の数量を表す。

2) 農業生産面から見た圃場配分と分布の特徴

図 54 が示すように、集落の出発点からの距離と標高は非常に強い逆相関関係 ($R^2 = 0.7299$) にある。現地は、北方向に向かって急速に標高が低下している。集落に密集した家から遠い圃場ほど、平均して標高は低い。現地での聞き取り調査では、低地の圃場ほど生産量が上昇するという事であった。一般的に標高差 100m ごとに平均気温は 0.6°C 低下するため、場所によって 300m 以上の標高差を持つ対象地域の圃場では、本来的な生産量が標高に依存して低下することが考えられる。そうであれば、標高と強く相関する距離が生産量に負の影響を与えている可能性が考えられるのだが、しかし、圃場の分布図とその生産量を(図 56)見た限りではその影響は必ずしも明らかではない。実際に衛星データから得た標高と聞き取り調査による収量を比較すると、必ずしも標高と生産量は相関関係をもたない。したがって収量は単に気温差によって決まるのではなく、肥培管理の状況など、それ以外の要因にも大きく左右されると考えられる。

図 55 は、圃場への道のりとその圃場までの斜度を分布図にしたものである。図 55 において、左上に分布するような、斜度が高く道のりが短い、つまり一気に上り下りする圃場と、図の右下に分布するような、斜度が低いけど道のりが長い、つまりゆっくりと上り下りする圃場とが存在している。

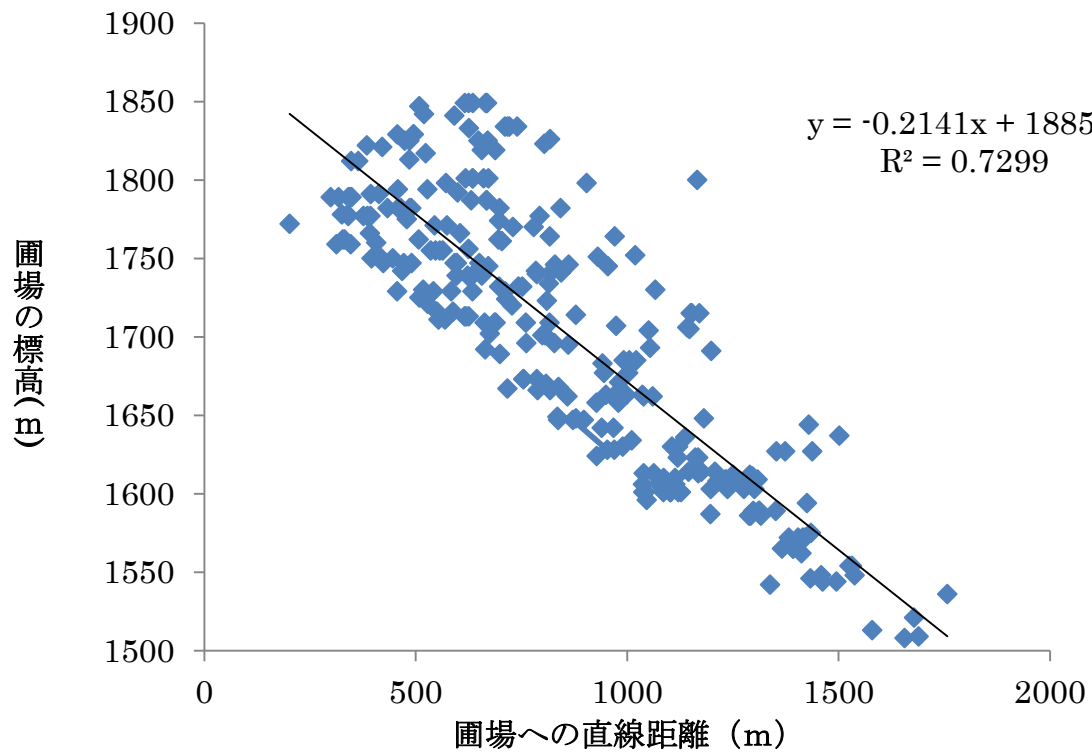


図 54 圃場への直線距離と標高

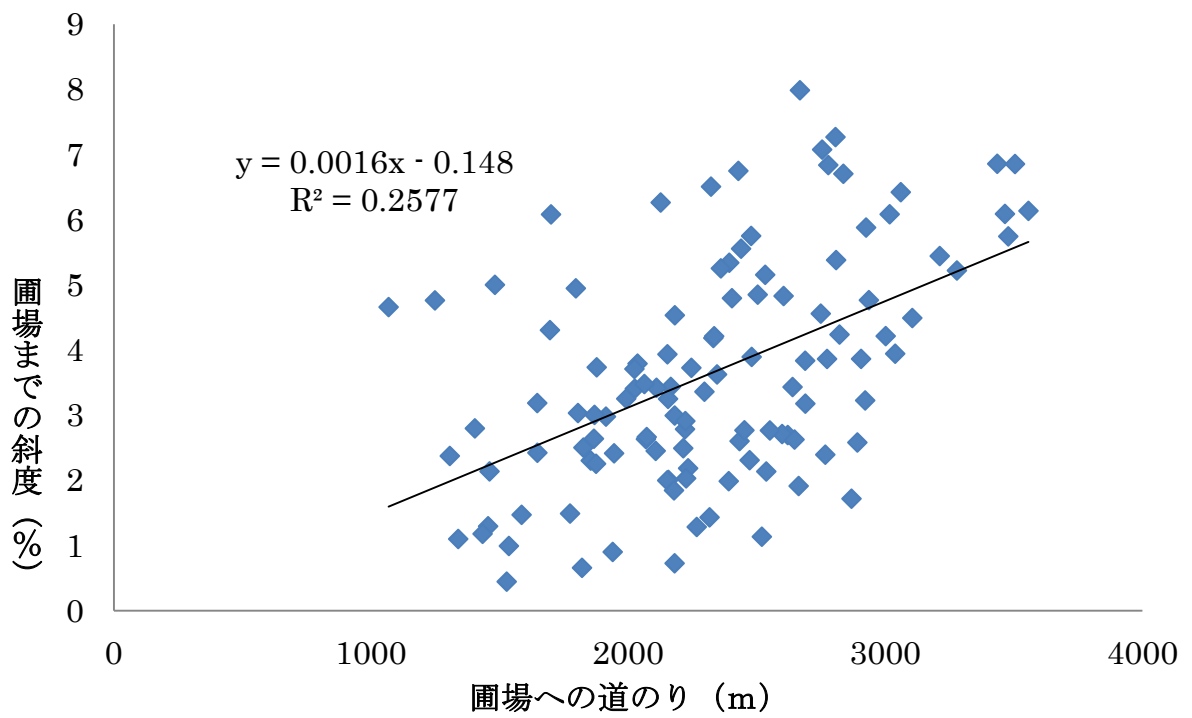


図 55 圃場への道のりと圃場までの斜度

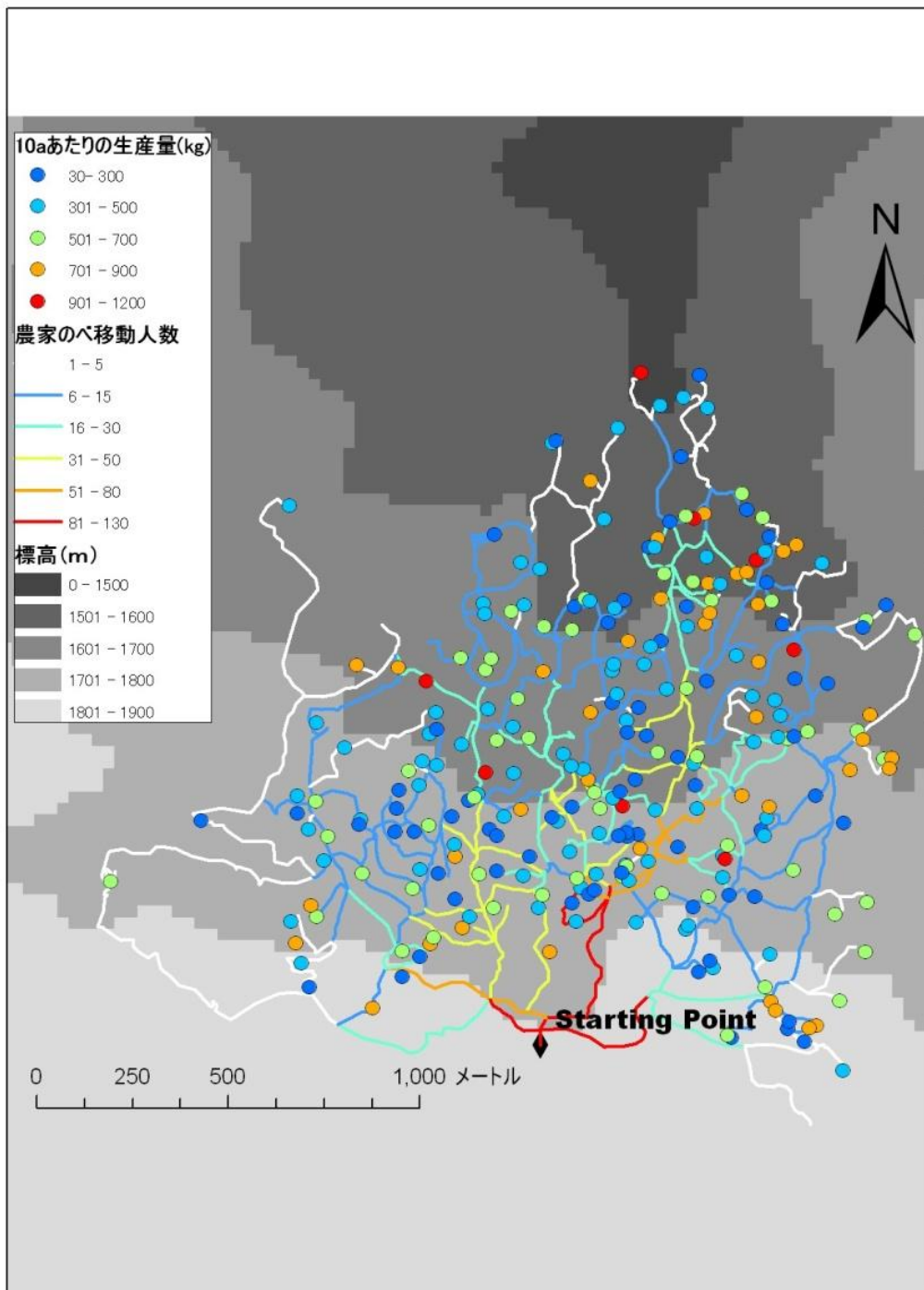


図 56 圃場の 10a あたり生産量(kg)と経路の利用人数

出所：筆者作成

3) 推計モデル

途上国の農家や家内企業など生業的小規模生産者の分析では、家計と生産は截然と区別できない。これらは、生産と消費に関する経済決定が一つの世帯の中に統合されている。また、手元の資金を家計の消費や貯蓄、農業生産の運転資金や投資などに弾力的に運用していることが多い。

生産と消費を同じ主体が行うハウスホールドモデルは、古くはチャヤノフ (Chayanov 1923)まで遡ることができる。チャヤノフは生産が利潤最大化よりも家計の食料消費と余暇の需要を考慮して決定されると指摘し小農経済の原理としてまとめた。チャヤノフの分析の研究は日本では盛んに行われ、田中(1967)は農家主体均衡論としてハウスホールドモデルを先駆的にまとめている。さらに中嶋(1983)は農業経営体を家族労働力のみの農家と雇用労働を用いる農企業に分けているが、Sadoulet et al. (1995)などその後の基本モデルでは、市場の不在や取引費用などの不完備性を取り入れている。

本研究ではハウスホールドモデルを用いて、農家の効用最大化条件の下での、圃場から生産される食料供給についてを定式化する。本研究では、Benjamin(1992)、Sadoulet et al. (1995)を参考に、家計の最適化問題を以下のように表す。

$$\max_{c,q} u(c, z^c) \quad (1)$$

s.t.

$$g(q, z^q) \geq 0 \quad (2)$$

$$\sum_{i \in T} p_i (q_i + E_i - c_i) \geq 0 \quad (3)$$

$$p_i = \bar{p}_i, \quad i \in T \quad (4)$$

$$q_j + E_j - c_j = 0, j \in NT \quad (5)$$

u : 効用 c : 消費財(食料, 購入財, 余暇など)

q : 生産財($q_i > 0$), 生産要素($q_i < 0$)

z^c : 消費者としての家計の特徴 z^q : 生産者としての家計の特徴

\bar{p} : 外生の市場価格 E : 使用可能な時間を含めた家計の初期賦存

T : 取引財 NT : 非取引財

生産要素や財は全て取引財(集合 T)と非取引財(集合 NT)に分ける。取引財は、市場が存在し家計がその市場に参加する財とする。市場が存在しない、もしくは取引費用が大きすぎるため家計が市場に参加しない財を非取引財とする。取引財か否かについて、取引費用などは家計にとって内生的にも決まりうるが、

ここでは、分析の範囲で変化しないものと仮定する。

(1)式は目的とする効用関数である。ベクトル c は食料や購入財、余暇などからなる消費財であり、世帯構成などの消費者としての家計の性質は z^c で表現される。(2)式は、生産技術の条件である。 z^q は生産資本などの生産者としての家計の性質を表す。ベクトル q は個別の要素 q_i が正ならば生産財、負ならば生産要素である。(3)式は予算の制約式を示す。ここで、 E は家族の使用可能時間を含めた初期賦存である。消費は生産と初期賦存の和を上回らない。(4)式は取引財の均衡条件である。 \bar{p} は外生的に決まる市場価格を表す。(5)式は非取引財の均衡条件である。これらの財は、家計内で供給 $q_j + E_j$ と需要 c_j とが均衡する。

この制約付き最適化問題の解は、ラグランジュ法を用いた以下の式を解くことで得られる。

$$L = u(c, z^c) + \lambda[\sum_{i \in T} \bar{p}_i (q_i + E_i - c_i)] + \sum_{i \in NT} \mu_i (q_i + E_i - c_i) + \phi g(q, z^q) \quad (6)$$

λ, μ, ϕ : ラグランジュ乗数

この式を消費財 c について偏微分し、内点解を仮定すれば、F.O.C.として取引財、非取引財それぞれに以下の条件が得られる。

$$\frac{\partial u}{\partial c_i} - \lambda \bar{p}_i = 0, \quad i \in T \quad (7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial c_j} - \mu_j = 0, \quad j \in NT \quad (8)$$

同様に生産財 q について偏微分し、内点解を仮定すれば、F.O.C.として以下の条件が得られる。

$$\lambda \bar{p}_i + \phi \frac{\partial g}{\partial q_i} = 0, \quad i \in T \quad (9)$$

$$\phi \frac{\partial g}{\partial q_j} + \mu_j = 0, \quad j \in NT \quad (10)$$

さらに、家計が消費を決定する主体均衡価格 p^* を用いると、財 k について、取引財ならば $p_k^* = \bar{p}_k$ となり、(7)式は以下のように表現できる。

$$\frac{\partial u}{\partial c_k} - \lambda p_k^* = 0 \quad (11)$$

また、財 k について、非取引財ならば $p_k^* = \mu_k / \lambda$ となり、(10)式は以下のように表現できる。

$$p_k^* + \frac{\phi}{\lambda} \frac{\partial g}{\partial q_k} = 0 \quad (12)$$

次に、(2)式については、生産関数を G とし、生産される農業生産物 q_a 、投入労働 q_l として(13)式のように表す。

$$g(q, z^q) = q_a - G(-q_l, z^q) = 0 \quad (13)$$

q_a, q_l と(13)式を(12)式に代入すると以下のようになる((14), (15)式).

$$p_a^* + \frac{\phi}{\lambda} \left\{ \frac{\partial q_a}{\partial q_a} - \frac{\partial G(-q_l, z^q)}{\partial q_a} \right\} = 0 \quad (14)$$

$$p_l^* + \frac{\phi}{\lambda} \left\{ \frac{\partial q_a}{\partial q_l} - \frac{\partial G(-q_l, z^q)}{\partial q_l} \right\} = 0 \quad (15)$$

(14), (15)式をまとめると(16)式のように表現できる

$$\frac{p_l^*}{p_a^*} = G'(-q_l) \quad (16)$$

(16)式は, 要素価格比が限界生産性に等しいという利潤最大化問題の F.O.C である. q_a, q_l を用いた (16)式に結果に示されるように, (12)式は, 主体均衡価格 p^* で定義される利潤の最大化問題の F.O.C と同一の結果である.

したがって, 家計の生産は, 包絡線定理を用いて利潤関数を主体均衡価格 p^* について偏微分することで得られる供給関数及び要素需要関数として表される. ベクトル q を用いてこれらの関数は(17)式のように書ける.

$$q = q(p^*, z^q) \quad (17)$$

家計の最大化利潤 π^* は利潤関数(18)式のように表される.

$$\pi^* = \sum_k p_k^* q_k(p^*, z^q) \quad (18)$$

π^* : 最大化利潤

同様に(11)式は主体均衡価格を p^* を所与とし効用最大化を行った F.O.C と同一の結果となる. したがって家計の消費面の決定は, 主体均衡価格 p^* を所与とした所得関数と, 所得関数を主体均衡価格 p^* について偏微分することで得られる消費需要関数で表される. ベクトル c を用いて, 家計の完全所得を y^* と置き, 消費需要関数(19)式と所得関数(20)式は以下のように表される.

$$c = c(p^*, y^*, z^c) \quad (19)$$

$$y^* = \pi^* + \sum_i p_i^* E_i \quad (20)$$

y^* : 完全所得

このとき完全所得は, 市場取引での現金所得のみでなく, 市場を介さない帰属利潤や時間賦存量など, 家計の保有する生産要素や財の帰属価値を含むものとする.

(17)式と(19)式は, 生産面及び消費面での家計の決定が, 主体均衡価格 p^* と家計の性質 z^q, z^c, E の関数であるということを示している.

Bardhan(1999)などに基づいて, 外生の市場価格 \bar{p} を代入して内生変数である p^*, y^* を消去することで q, c について以下のように誘導形を得ることができる.

$$q = q(\bar{p}, z^q, z^c, E) \quad (21)$$

$$c = c(\bar{p}, z^q, z^c, E) \quad (22)$$

本研究ではデータ制約もあり生産面における分析に集中することとし、供給関数(21)式の推計を行う。その際、図 54 や図 55 に見られるように、各圃場ごとに物理的な生産条件も投入可能な資材でみた生産条件も大きく異なるという本研究対象地域の実態を踏まえて、圃場ベースでの推計を行う。対象地域は圃場の分散が著しく、傾斜の厳しい土地である。GPS で計測した道のりに基づいて推計した移動時間コストを分析に含めている。

圃場からの供給量を Y 、世帯構成などの消費者としての家計の性質 z^c と、生産資本などの生産者としての家計の性質 z^q 、初期賦存 E とを併せて z として置く。供給関数(21)式は以下のように表される。

$$Y_l = f(z_l) \quad (23)$$

誤差項 ε を用いて、個々の圃場からの供給関数を以下のように仮定し推計を行う。

$$Y_l = A + \alpha z_l^q + \beta z_l^c + \gamma E_l + \varepsilon_l \quad (24)$$

消費者としての家計の特徴 z_l^c には在村世帯員数を用いる。生産者としての家計の特徴 z_l^q には世帯主の学歴・年齢・年齢の 2 乗、圃場の面積、および標高の代理変数としての圃場までの直線距離を用いる。圃場の集落からの直線距離が標高と非常に強く相関しているために、道のりによる通作時間コストを正確に変数に入れることができれば、分析上、直線距離は標高の代理変数として用いることができると考えられる。

使用可能時間を含んだ初期賦存 E には、兼業の有無、圃場分散指標 SI 、圃場への通作道のり・圃場への通作道のりのコスト距離、および圃場の重心からの各圃場へのコスト距離を用いる。これらは圃場分散の指標でもある。圃場の重心からの各圃場へのコスト距離とは、一戸の農家が持つ複数の圃場の重心となる座標を GIS 上で求めたうえで、その重心からの各圃場へのコスト距離を算出したものである。この変数を用いることによって、圃場間の通行コストによる生産量への影響を見ることを試みている。

4) 結果と考察

表 36 圃場の生産量の推計結果 1

	圃場の生産量(kg)			
	1	2	3	4
在村世帯員数	0.753 (6.14)	4.159 (6.28)	1.295 (6.16)	0.627 (6.16)
世帯主の年齢	6.022 (6.05)	7.462 (6.04)	6.222 (6.06)	7.626 (6.01)
世帯主の年齢2乗	-0.077 (0.06)	-0.088 (0.06)	-0.076 (0.06)	-0.090 (0.06)
世帯主の就学ダミー	50.10** (23.0)	46.60** (22.9)	45.93** (23.3)	49.98** (22.7)
世帯の兼業ダミー	-46.16 (41.2)	-54.45 (41.1)	-44.73 (41.2)	-42.66 (41.3)
圃場の面積 (10a)	219.1*** (13.95)	206.7*** (14.94)	213.2*** (15.03)	217.2*** (13.94)
シンプソンインデックス		-115.1** (52.12)		
圃場の筆数			-7.995 (7.64)	
標高の代理変数 (圃場までの直線距離(m))				0.432** (0.194)
圃場までの道のり (m)				-0.159* (0.08)
圃場までの道のり コスト距離				
圃場の重心からの 各圃場へのコスト距離				
1~5組のダミーは 追加済み				
定数項	45.65 (159.2)	64.42 (158.3)	60.94 (159.9)	-14.07 (162.5)
サンプル数	271	271	271	271
自由度調整済みR-2乗値	0.502	0.510	0.503	0.514

註：1) ***, **, *, はそれぞれ 1%, 5%, 10%有意水準を満たす。

2) 圃場の重心からの各圃場へのコスト距離とは、一戸の農家の圃場の重心からの各圃場へのコスト距離を算出したものである。

表 37 圃場の生産量の推計結果 2

	圃場の生産量(kg)		
	5	6	7
在村世帯員数	0.634 (6.12)	3.790 (6.27)	3.794 (6.28)
世帯主の年齢	6.639 (5.97)	7.974 (5.96)	7.863 (6.03)
世帯主の年齢2乗	-0.081 (0.06)	-0.0907* (0.05)	-0.090 (0.06)
世帯主の就学ダミー	48.12** (22.6)	44.89** (22.55)	44.59* (22.70)
世帯の兼業ダミー	-41.35 (41.0)	-49.040 (40.92)	-48.430 (41.27)
圃場の面積 (10a)	214.3*** (13.86)	202.8*** (14.82)	202.7*** (14.89)
シンプソンインデックス		-107.8** (51.43)	-104.7* (56.73)
圃場の筆数			
標高の代理変数 (圃場までの直線距離(m))	0.362*** (0.132)	0.348*** (0.131)	0.345** (0.134)
圃場までの道のり (m)			
圃場までの道のり コスト距離	-2.63e-05** (0.00001)	-2.52e-05** (0.000012)	-2.48e-05** (0.000012)
圃場の重心からの 各圃場へのコスト距離			-0.00378 (0.0286)
1~5組のダミーは 追加済み			
定数項	-135.4 (166.8)	-112.3 (166.1)	-107.8 (169.9)
サンプル数	271	271	271
自由度調整済みR-2乗値	0.518	0.524	0.522

註：1) ***, **, *, はそれぞれ 1%, 5%, 10%有意水準を満たす。

2) 圃場の重心からの各圃場へのコスト距離とは、一戸の農家の圃場の重心からの各圃場へのコスト距離を算出したものである

供給関数の推計結果を表 36, 表 37 に示す。圃場の地理的条件に関する説明変数の選択ごとに、推計結果を 1 から 7 として示した。

推計結果 1 は、シンプソンインデックスや地理的変数を用いていないモデルとなる。面積と就学の有無が生産量に有意な影響を与えている。対象地域では、世帯主の就学・学習は、圃場の生産量を増加させていると考えられる。

推計結果 2 はシンプソンインデックスを用いた。圃場分散指標であるシンプソンインデックスの増大は、圃場からの生産量を減少させている。家計ごとの圃場分散の指標によって、各圃場の生産量が負の影響を受けることが分かる。

推計結果 3 は圃場の筆数を用いていた。シンプソンインデックスとの違いは、面積の割合の差を加味していないところである。係数は負であり、圃場が多いほど生産量が下がると考えられるが、有意な影響とはなっていない。

推計結果 4 では、圃場までの直線距離と道のりの影響を変数に加えた。直線距離・道のりそのものは、圃場のアクセスの難しさ・かかる時間に関連する変数であるが、同時に標高とも逆相関を持つ。通作距離の増大に伴う労働コストの増大という面ではマイナスであるが、生物生産の物理的な環境としてプラスとなるために、結果として生産へは正負どちら側への影響も与えうる。圃場までの直線距離と圃場までの道のりのどちらか片方のみを入れて推計してみると、その両方の推計結果が生産量に対して有意に正となる。そこで、推計結果 4 では、圃場までの直線距離を標高低下の代理変数として捉え、通作距離の増大(労働時間や費用の影響)と一致する圃場までの道のりの変数を同時に入れることで、生物物理的な環境要因の改善と労働コストの増大との影響の分離を試みている。

結果として、圃場までの直線距離は生産量に正、圃場までの道のりは生産量に負の影響を与えた。直線距離は標高の代理変数となり、直線距離が大きくなるほど標高が低下し、米の生産量に正の影響を与えていると考えられる。一方、圃場までの道のりが長い圃場は、通作に余分な時間がかかり、そのために肥培管理が十分にできず圃場の生産量を低下させていると考えられる。

推計結果 5 は道のりに通常の距離ではなく、斜度の平方根を移動コストの指標としたコスト距離を用いたものである。変数の有意度は向上し、修正 R2 乗値も上昇している。したがって、道のりにさらにコスト距離を加味した方が説明力が高まると考えられる。ここで係数が小さいのは、コスト距離の値が大きいためである。この推計結果から、斜度による移動の負担(より多く時間がかかる)と考えられる)を加味すると、より圃場の生産性の低下を正確に把握できるといえる。

推計結果 4, 5 を改めて整理すると、道のりが長くなる圃場では、移動に時間コストが掛かって時間賦存量がその分だけ減少し、農家の農作業へ割ける時間が少なくなるために、同じ家庭労働力を持った農家でもより低い生産量しか生

産できず、より遠い圃場では生産量が低下することになる。

推計結果 6 は推計結果 5 に通常の圃場分散指標であるシンプソンインデックスを改めて加えて推計している。どの地理的変数も有意な結果を得ており、標高の代理変数としての直線距離は正、道のりコスト距離とシンプソンインデックスは負で有意な係数となっている。つまり、圃場の数や面積がばらばらになり、またそれぞれの圃場への通作の負担が大きいと、各圃場の生産量が低下する。シンプソンインデックスのみを用いている場合と比べ、通作の労力の定量的な影響と、それぞれの圃場の生産量の低下が明らかになっている。

推計結果 7 では、各農家の所有する圃場の重心からの、それぞれの圃場までのコスト距離を変数に入れた。この変数は、農家の所有する圃場の内、他の圃場から離れている圃場は他と比較して生産量が低下するのではないかという仮説のもと利用している。その結果、影響は負ではあったが、有意性は低かった。なお聞き取り調査によれば、対象地域では、圃場間の距離の長さから、一日に一つの圃場を廻るようして、圃場管理作業を行っているという農家もあった。圃場間の近接性はこの指標でみる限りでは、影響は見られなかった。

推計 1~7 の他に、圃場の筆数や道のりの交差項といった変数も作成し推計を行ったが、有意な結果は得られなかった。本研究では、圃場までの通作の労力、圃場の筆数と面積の分散という指標のみでなく、圃場間の距離や、通作と圃場の数との関係を併せた指標を作成し、生産量への影響を計測することも目的の一つとした。しかし、単純な圃場の重心からの距離や、圃場の筆数と道のりの交差項のような変数からは、生産量に影響を与える変数を見出すことはできなかった。推計上は、サンプルの数やデータ、変数間の多重共線性の問題もあったと考えられるが、圃場間の距離等などを活用し、分散錯圃についてより詳しく説明する指標を作ることは、今後の課題の一つである。

以上、本章での推計結果では、まず、シンプソンインデックスが負に影響していることから、圃場の数や面積が分散していることによってその世帯の時間賦存量が減少し、その世帯が所有する圃場の生産量が減少することが明らかになった。また、各圃場への移動時間コストが、時間賦存量を減少させ、結果的にそれぞれの圃場の生産量を低下させているということが明らかになった。

既存の研究では、圃場分散が通作の増大から生産性を低下させていると指摘しているにもかかわらず、実際の距離の指標は必ずしも利用されていない。どのくらい圃場が離れているかによって、どの程度圃場ごとの生産量が低下しうのかを定量的に明らかにした点に、本研究での貢献がある。また、本研究での推計により、直線距離と圃場の標高とが相関するような、距離の影響を特定しにくい集落でも、データを細かく構築することによって、移動時間コスト、標高による生産条件、それぞれの影響を明らかにできることを示した。その際、

コスト距離を用いて、道のりにさらに斜度による負担を加味し、説明力が向上することも示している。これらの分析は、集落の圃場分布を特定し、さらに農家の通る正確な道のを判別したことによって初めて得られた事実である。これは Gibson et al.(2007)も指摘しているように、GPS を用いることでより正確に通作のコスト指標が計測できた成果である。なお、本研究では農家調査の際に各圃場の通作時間も聞き取っているが、聞き取りで得た通作時間の変数を推計に用いた場合には有意な結果は得られなかった。

一般的には、圃場分散の解消は、大規模な農家に農地を集積することによって、断片化された圃場の筆数を減らすことと考えられる。しかし、本研究のように、圃場への道のりや圃場間の距離による生産量への影響を明らかにすることによって、一人あたりの圃場の筆数は変わらなくとも距離を変化させることによる生産量への影響を把握できる。これにより、基盤整備等によって圃場を集団化させられなくても、圃場の割り換えによって圃場の距離を減少させることで、集落全体の生産性を効率化する可能性がある。本研究では道のりの生産量への効果を測定するにとどまったが、このデータの整備によって、将来的には集落内の各農家が最も効率的に生産可能な圃場の割り当てを GIS によりシミュレーションすることも可能であると考えられる。

集落の水田・農地の維持に関して、本研究の対象集落は、現状ではほとんどの圃場や水路が十分に整備されている状態であった。しかし、実際には図 56 のように、生産量に大きな差がみられている。それぞれの農家家計は、効用最大化の条件のもとに、自身の属性に加えて所有する圃場の筆数やそれぞれの圃場への通作コスト、標高による生産条件等も考慮し、その結果、水稻の生産量が決まってくると考えられる。対象集落では、ごく一部であるが、耕作が放棄されるような圃場も存在している。その際、各農家の限りある利用可能時間について、限界生産物価値が低い圃場から順に放棄されていくことが考えられる。推計結果からは、直線距離が長くないが、道のりは長くなってしまいう圃場(曲がりくねった道を通らざるをえない圃場)において、生産性が低い。そのような圃場から、圃場の管理が行われなくなり、耕作放棄につながる可能性がある。圃場までの直線距離(標高)の生産量への正の効果は、道のりの生産量への負の効果の 2 倍以上であったことから、単純に集落から遠い圃場から生産量が減少し、最終的に放棄されていくわけではないと考えられる²³⁸。そのときは、推計結果 6 や 7 からは、シン普森インデックスが示す、圃場の筆数と面積の割合も同時に影響している。圃場を多く持っている農家が、さらに直線距離(標高)に比べて道のりのコスト距離が大きな圃場を持っていた時に、その圃場で労働力投下・

²³⁸ 実際に、道のりが長いが高標高が低い地点にある圃場を望む農家がいる。ただし、兼業が増えた現在では、低標高・遠隔地の圃場は昔ほど人気ではない。

圃場管理がなされなくなる可能性がある。

既に、村の若い男性は出稼ぎや農外就業を行っていることが多く、日頃の農作業は女性や子供、高齢者が中心になって行っている。若者の中には、農作業を忌避する者もあり、今後、経済の発展とうにより農業以外の雇用機会がさらに増加すれば、水田の管理はおろそかになることが予想される。本研究の対象地域では、現在のところは水田の管理に大きな問題は見られないが、集落の経済環境や、農家や圃場の属性によっては比較的はやく農地管理の問題が発生することも可能性もある。

今回は、圃場間の相互関係や土壌の豊度と行った変数を必ずしも十分に加味することができなかった。今後、各圃場での最適な生産に関するモデル化と空間的な変数を含めた推計を行い、どのような圃場の最適な割り替え、パレート改善な圃場の交換が可能かを考察していくことも課題の一つといえる。

補論 2 GPS による農村の圃場・経路マッピング

1) 移動経路（道：ライン）データの構築

補論 2 では、本文での経路をライン、ラインの始点と終点である点をノードとして統一する。「道(ライン)」は、本節に記述されるように、個々の GPS ラインに半径 10m の幅を持たせ、空間的な重複をカウントし、6 本以上の GPS 線が重なった線を中心とした、30m 以内に道がない圃場がある場合には、GPS 線が 6 本に満たない経路もラインとして追加した。このように全ての圃場はラインからの距離が 30m 以内となる。ラインの位置は Google Earth 上にデータを結合させた上で、50cm 分解能の詳細な衛星画像上の農道と見られる被覆を適宜参照している。

交差点において、ライン同士を繋ぐ点(ノード)を一致させる最大距離は 30m である。30m 以内の地点から異なる方向へラインが伸びた場合、それぞれのラインが始まる点は一点にまとめ、交差点のノードとした。交差点をショートカットするような農家も稀に見受けられたが、結果的に、すべてのラインは矛盾なく結ぶことができている。

図 63 は、GPS 線から上記の方法で算出したラインとノードの図である²³⁹。図中の数字はノードの ID を示す。図 64 は実際の一戸の農家の GPS での動きと圃場全体の経路を重ね合わせたものである。図 64 のような農家の移動記録の集合から作成した地図が図 63 となっている。図 63 にさらに農家の圃場の位置を図示したものが第 2 節の図 41 である。図 41 を用いることで、共通の出発点となる最も南のノードからそれぞれの圃場に到達する道のりの距離を GIS 上で算出可能である。ここで、ラインを構築した際に考慮したように、圃場までの距離は全てのラインで最大 30m である。本研究では、30m 以内に到達した際には、「その圃場に到達できた」ものとみなして分析を行った。

図 66 のようなモデルを用いて各圃場が最短の経路で各圃場に行った際のラインの長さの合計(距離)を求めた。これを、本研究では「圃場までの道のり」と呼ぶ。この「圃場までの道のり」は平均 1100m 以上となっており、圃場への到達とみなす最大 30m の誤差は、道のりに比べて非常に小さく、圃場の道のりの分析の際には無視できる範囲だと考えられる。

図 65 はラインの生成の際に半径 10m の幅に入った本数の計測を示した図である。ライン(薄い黄色)に半径 10m の幅を持たせ、各ノード(水色)に半径 10m の交差点の範囲を設定し、その部分をくり抜いた上で、ラインを通った GPS データの本数をカウントしている。

²³⁹ 第 2 節の図 40 にラインとノードを加えたものである。

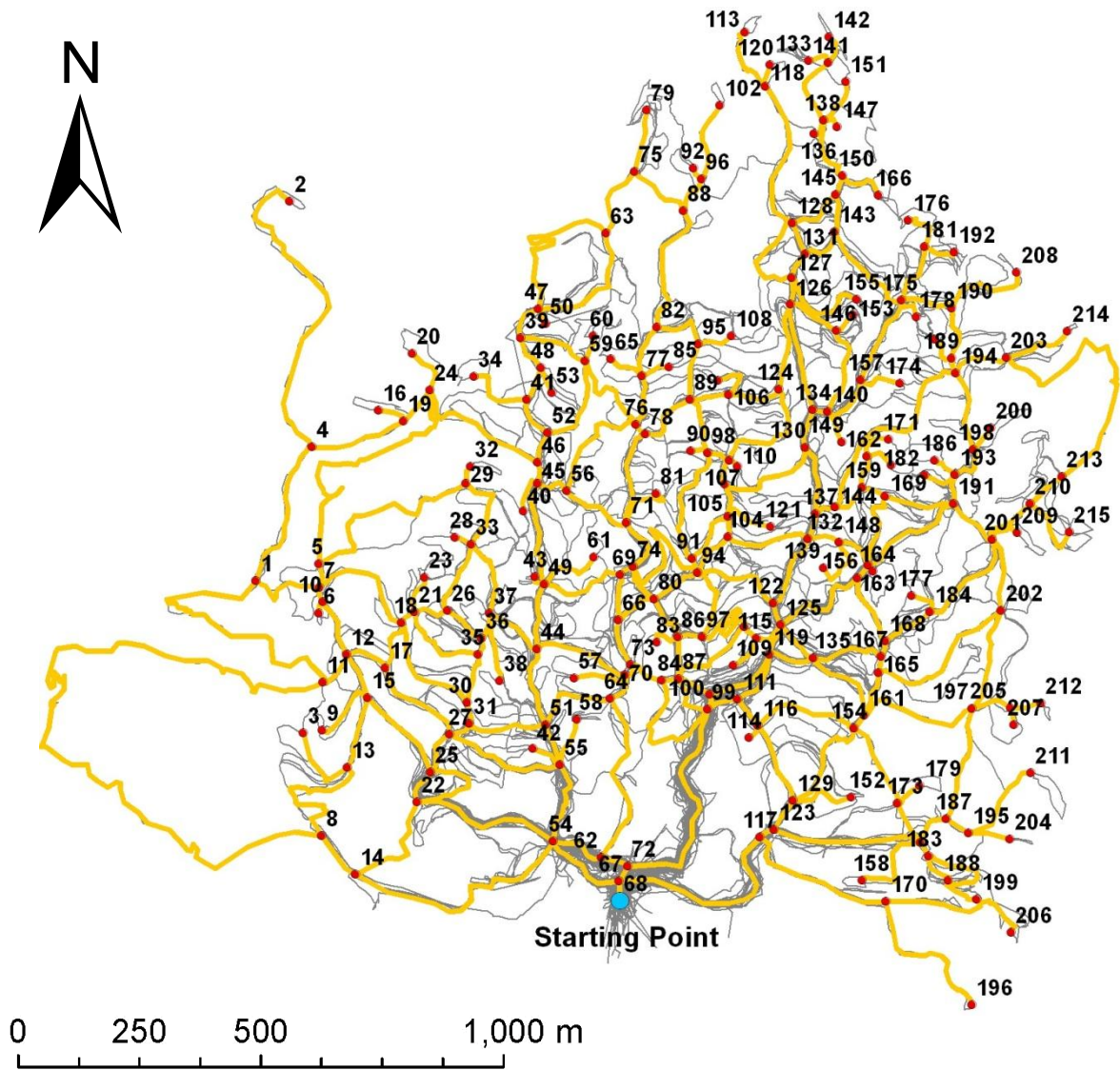


図 57 GPS データから導き出した「道」
 肌色線：GIS で割り出した道 水色の点：共通の出発点
 赤点：道の分岐点及び行き止まりの点(ノード；数字はノードの ID)
 出所：筆者作成

図 57 では全てのラインとノードが結ばれており、任意の場所に移動することができる。全ての農家は図中の Starting Point と書かれた水色の点から出発し、肌色の道を通り、赤点で示されたノードごとに次の道の選択し(行き止まりの場合はターンし)、日頃耕作している圃場を巡った上で出発点に再び戻ってくる。

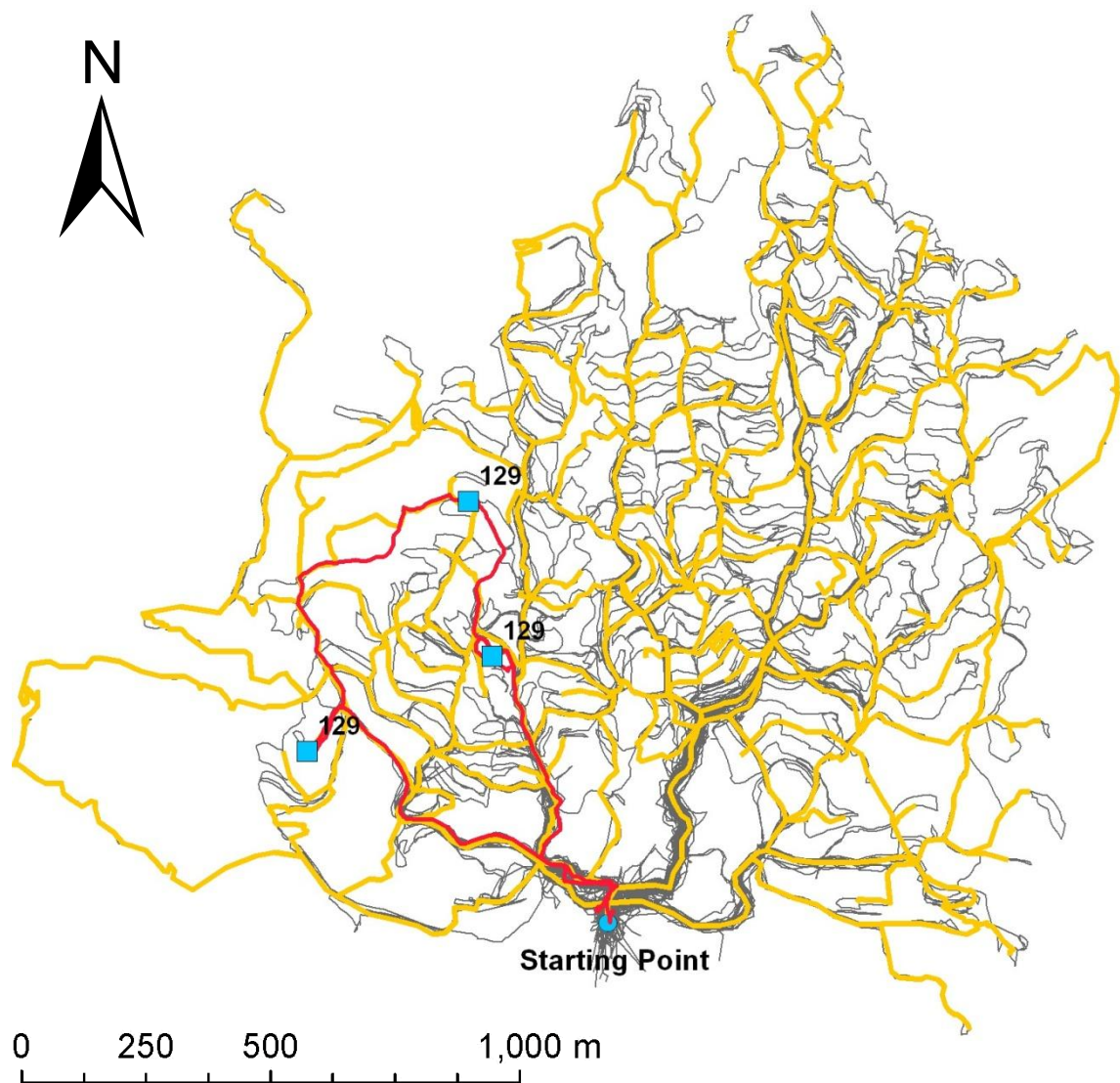


図 58 GPS による農家の全移動記録

肌色線：GIS で割り出した道 水色の点：共通の出発点

水色の四角形：農家の耕作している圃場 赤線：農家 129 の移動記録

出所：筆者作成

図 58 では、具体例に農家 ID129 の移動経路を図示している。出発点を出て、自らの三つの圃場を任意の順番で巡り戻ってくる。つまり、出発点で始まり出発点で終わること、図中の水色の箇所の 30m 以内には必ず移動すること、という二つがルールである。

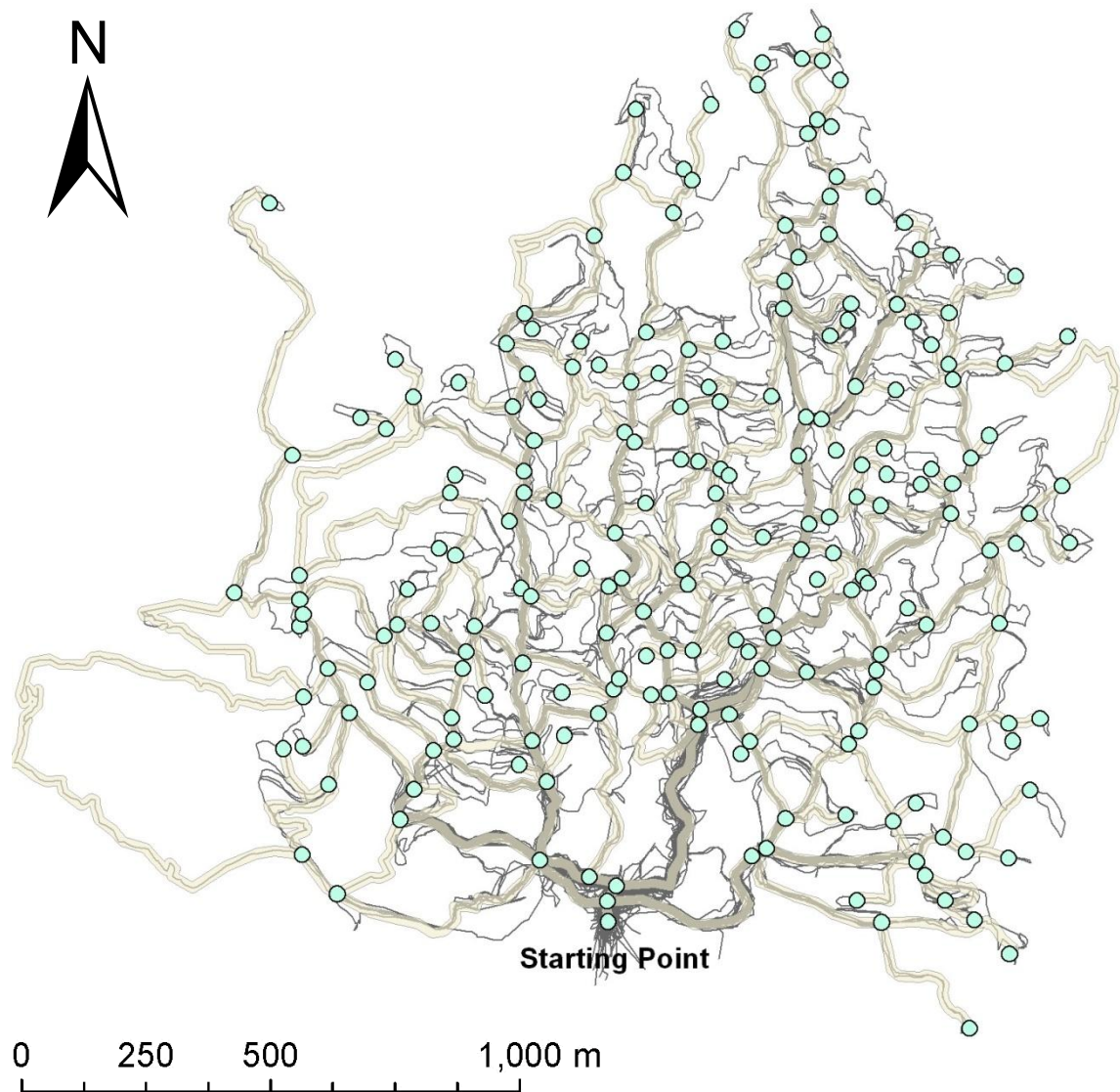


図 59 のべ通行人数の確認

薄い黄色線：GIS で割り出した道の両側に 10m の幅を持たせた線

水色の点：半径 10m の幅を持たせたノード

灰色の線：全農家の移動記録

出所：筆者作成

図 59 において、薄い黄色の線の中に含まれる農家の移動記録をカウントしている。交差点内で異なる経路を使用した農家の数をカウントすることを防ぐために、水色の点で示したノードの半径 10m 部分はカウントから除外している。

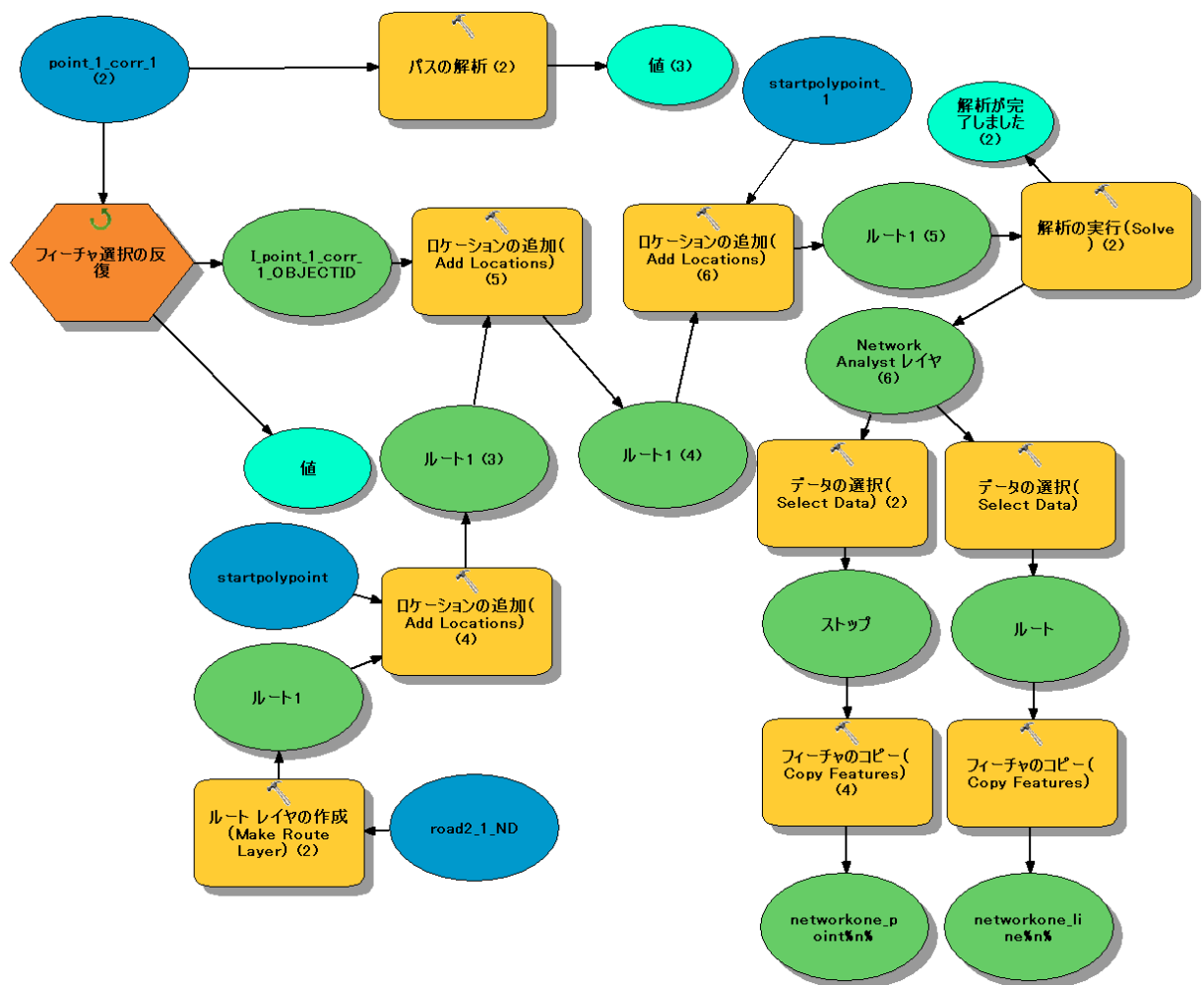


図 60 圃場までの道のり算出モデル

出所：筆者作成

図 60 のモデルは、最短経路で各圃場にたどり着いた場合の数値を算出して「圃場までの道のり」としているが、複数の圃場を巡って戻ってくる場合においても、GIS による最短経路と農家の実際の移動の相関係数は 0.95 である。この経路選択の仮定は現実と大きく乖離したものではなく、分析での使用に耐えるものであると考えられる。

GPS に活用について Gibson et al. (2007) は測定誤差の少なさに加え誤差の要因を特定可能であること、条件を揃えられることを指摘している。本研究での作成データでは、測定条件を揃え、誤差の大きさとその要因を把握することができているといえる。

2) 平均所要時間の測定

各ラインの平均所要時間の測定方法についてまとめる。以下、図 61~66 では、農家 ID127 を例に作業の工程を辿っている。図 61~66 に共通で、肌色の線が道、緑色の四角形が全農家の圃場、黒色のひし形が共通の出発点、水色の四角形が対象とする ID127 の農家の圃場、水色の点を対象とする農家の GPS ポイントデータ(実際に移動した経路)、橙色の点を対象とする農家が 35m 以内に接近したノードである。

①時間データの入った GPS ポイントデータを取り出し、マップ上に追加する。図 61 は、ID127 の農家の GPS ポイントデータを図示したものである。図 67 のように、このとき時間データは GPS 機器の設定から約 3 秒ごとに 1 ポイントずつ存在する。その全てのポイントデータを②の結合の対象とする。

②GPS ポイントの時間データを、各ポイントデータの半径 35m 以内にあるノードに結合する。図 62 では、農家 ID127 の GPS ポイントデータの 35m 以内にあったノードが判別されている²⁴⁰。これは、各農家を通ったノードを示していると考えられる。図 63 のように、各 GPS ポイントデータ(水色の点、蛍光の水色の点は表中で選択しているポイントデータ)には、記録された時間データが入っている。

これらのデータが図 64 のように、それぞれのノード(橙色の点)に結合される。結合の範囲を 35m とした理由は、複数回の試行の結果、無理なく全てのノードに GPS ポイントデータを結合できる距離で、最短の距離が 35m であったためである²⁴¹。これにより、理論上は最大 35m の誤差となり、平均時速である 3.00km では約 42 秒の誤差となってしまう。しかし、実際のデータ上は結合距離 10m (約 12 秒)以上となるような場合はほとんど存在しなかった²⁴²。

③複数結合した時間データのうち、最も近い GPS ポイントの時間データ以外のデータを全て消去する。図 65 は、往路復路における最も近い時間データのみを残し、それ以外の時間データを消去した後の図である。同じ道を往復した場合、時間データの列数は、行数は各ノードで 2 つずつなっていることが分かる。

また、あるノードから最寄りの圃場に行き、同じノードに戻ってきた場合、その移動時間が連続して同じノードに記録されることがある。この際にも、圃場に行く前と行った後の時間をノードに記録している。このデータは経路の経

²⁴⁰ 各農家の経路を一つずつ順に分析しているため、農家の関わらないその他のノードは図 68 において消去されている。

²⁴¹ 通常 3 秒に一回は時間と場所が記録されるが、林の木々やその他の障害物の影響で伝播が邪魔され、記録が滞る場合がある。

²⁴² 35m ほどの距離のデータを使用したのは、西側に離れた圃場を持つ ID125 の農家のみである。

過時間に役立てられることはないが、時間データの整合性を保つために必要である。

④一本のラインで繋がったノードの時間の差分を取り、経過時間を計測する。最終的に、それぞれのラインについて、全ての農家で平均値を取っている。想定される道を外れて寄り道などをしていることが明らかな場合には、その経過時間は、平均値の計算からは除外する。

ノードを繋ぐラインはすべて一本道で、各ノードとラインのデータは結合されているので、開始ノードと終止ノードを明らかにすることでユニークなラインを見つけ出すことが可能である。

以上の手順によって、GPS データを用い、誤差をできる限り抑え、データ数を確保しつつ、矛盾なく通行時間を算出することが可能となった。図 66 は GPS ポイントデータのそれぞれのノードへの結合をモデリングしたものである。ノードへの結合はマクロにより実行可能であるが、最終的には、一つ一つの GPS ポイントを手作業で取り除き、ノードに最も近いポイントを残している。その他の作業も、最終的には一つずつデータのチェックを行っている。

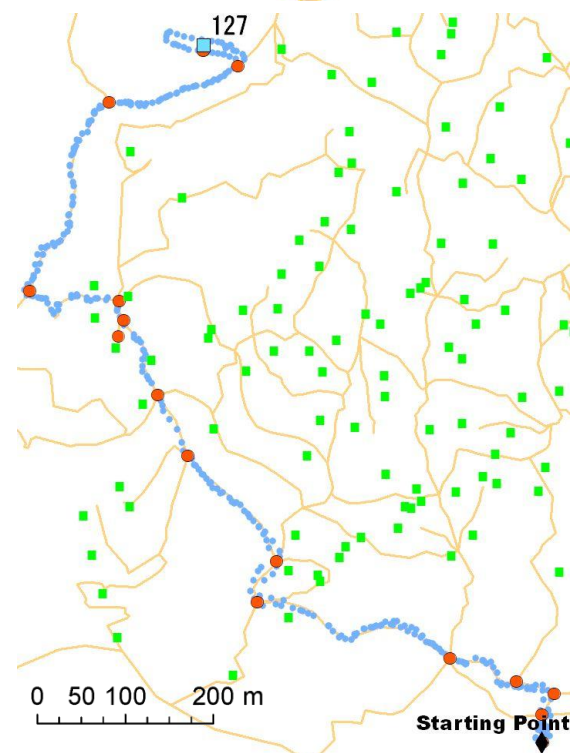
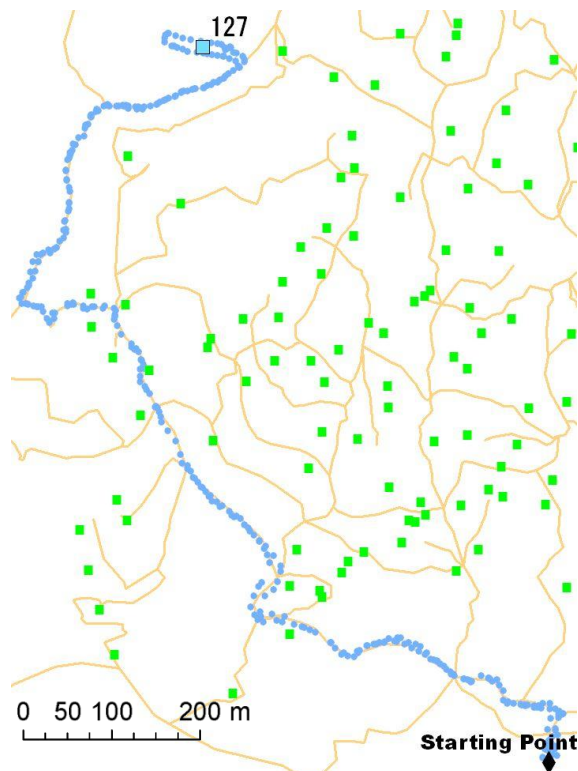


図 61 (上) 農家の GPS ポイントデータ

図 62 (下) 農家が 35m 以内に接近し「通過した」と考えられるノード

肌色線：GIS で割り出した道 緑色の四角形：全農家の圃場の位置
 水色の点：GPS ポイントデータ 橙色の点：農家が 35m 以内に接近したノード

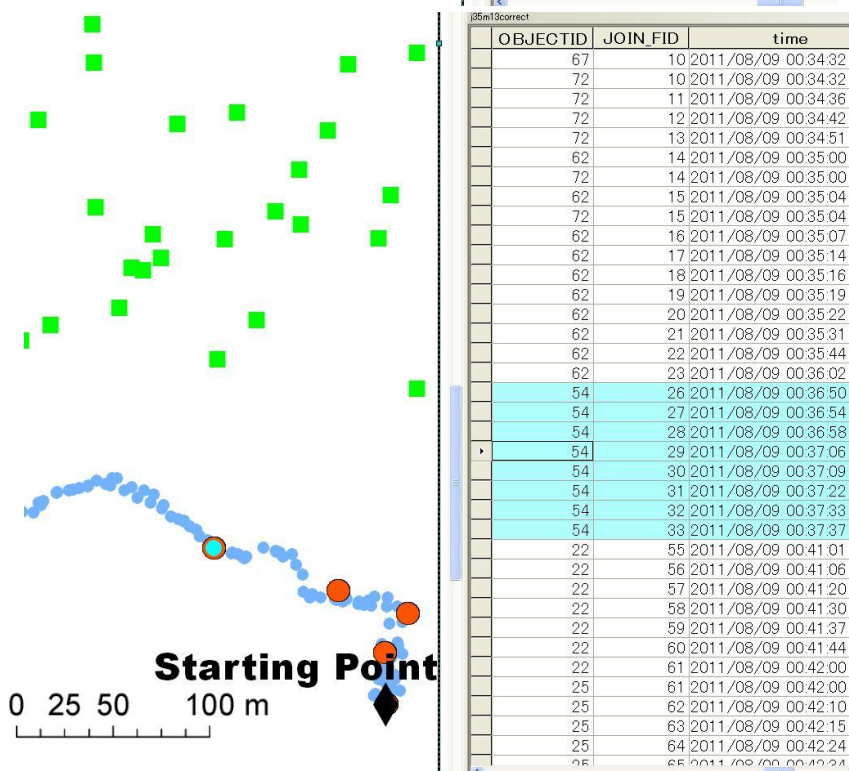
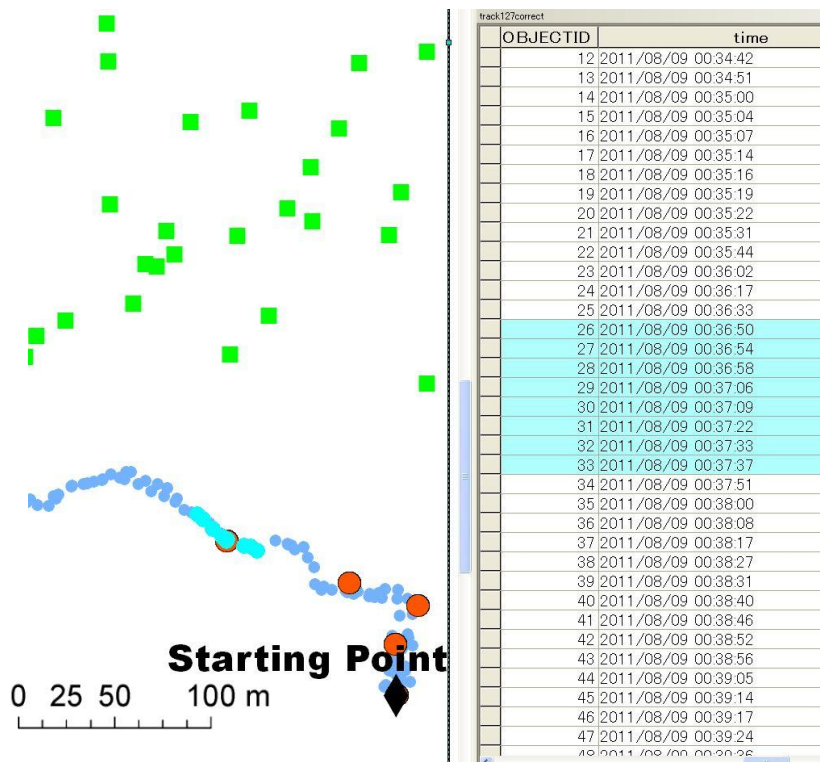


図 63 (上) GPS ポイントデータの中身(水色箇所が選択されたデータ)

図 64 (下) GIS ノードに結合された GPS ポイントデータ

凡例は図 61,62 と共通

図 69~71 における蛍光の水色箇所は左の図と右の表で対応している。

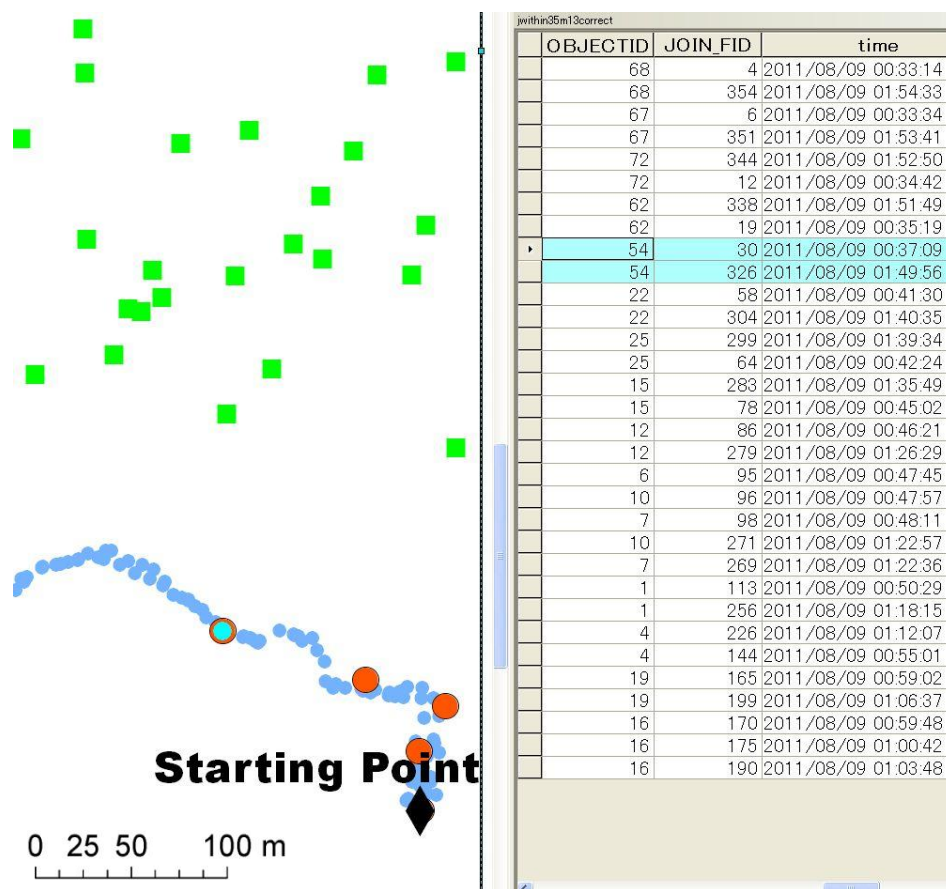


図 65 完成した通過時刻の結合ノード
凡例は図 61,62 と共通

図 65 は 35m 以内の GPS ポイントデータが結合されたノードについて、往路と復路それぞれで最もノードに近い GPS ポイントデータ以外のデータを消去してできた結合データである。

作業をすべてのノードについて行うことで、対象とする農家のノードとノードの間(ライン)の通過時間が明らかとなる。この作業を全農家について行うことで、データの取得できるほとんど全てのラインの通過時間を明らかにできる²⁴³。

²⁴³ 農家が特殊な移動経路を通り、本研究で設定されたラインやノードを飛ばして移動した際には、その時間はラインの通過時間からは除外している。

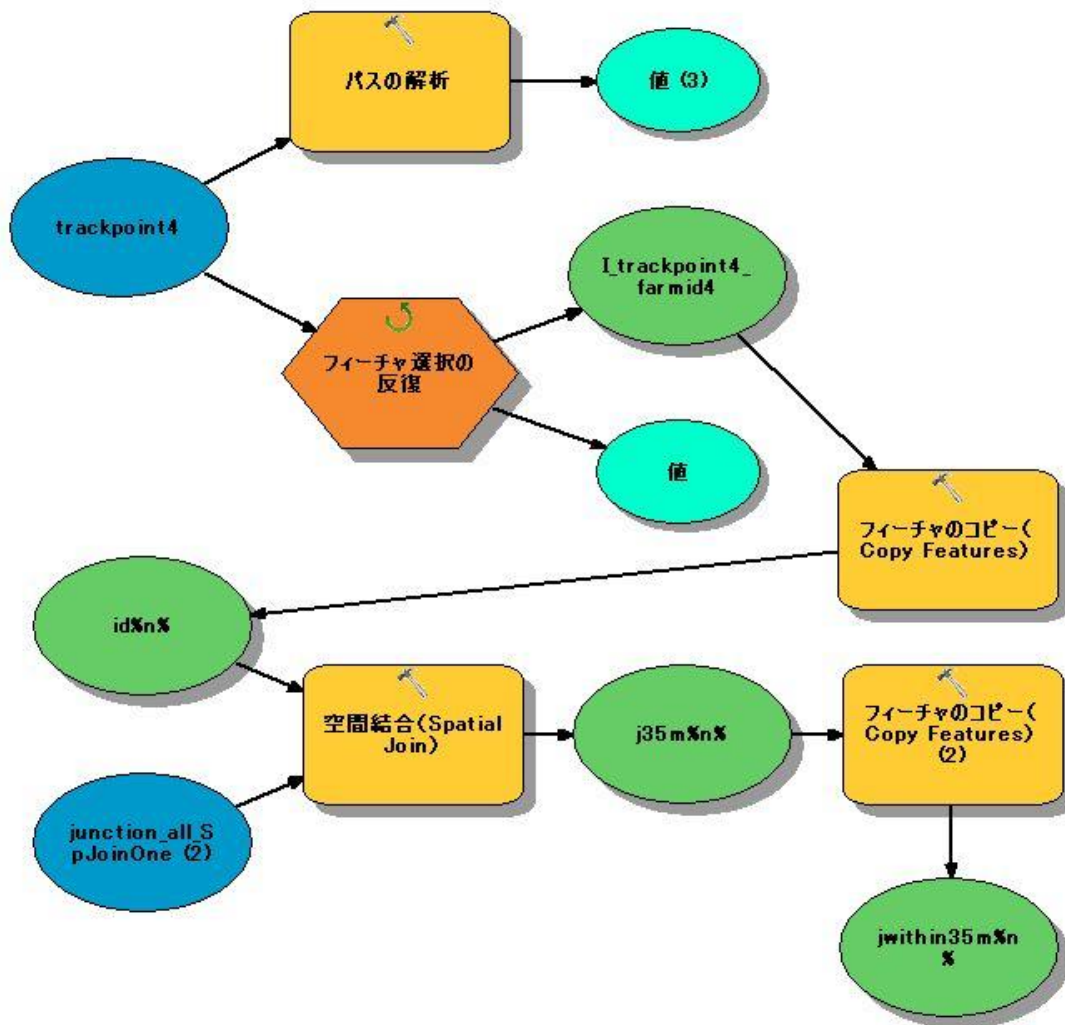


図 66 GPS ポイントデータの結合モデル

出所：筆者作成

図 66 のようなモデルを用いて GIS による反復計算を行った。各農家の GPS ポイントデータを 35m 以内のノードに結合する過程を示している。本研究での方法では結合後のデータの抽出・除去作業が煩雑であり、より合理的なデータ入力方法の考案による作業の効率化は今度の課題であるといえる。

3) 作成した圃場 GIS データセットの特性

頂点（ノード）は全部で 213 あり，ラインは全部で 281 ある．表データ上は上りと下りを区別しているため，総数は 562 にのぼる．ラインには以下の基本的な属性が付加される

- ・ラインの ID
- ・結合している頂点の ID
- ・上り方向の平均所要時間(計測可能分)
- ・上り方向の計測可能分通行数
- ・下り方向の平均所要時間(計測可能分)
- ・下り方向の計測可能分通行数
- ・高低差
- ・長さ
- ・斜度
- ・半径 10m の通行人数

以上の属性の他，圃場全体の中心点からの距離や出発点からの距離，近傍の経路やノードの数や距離等のデータを GIS を用いて新たに算出可能である．

4) ネットワーク分析と圃場移動データの作成

作成した道データを用い、それぞれの圃場に最短経路で移動する推計を、GISのネットワークアナリシスを用いた反復演算によって行った。これは、各農家が、出発点から、各々の耕作している圃場を訪れて戻ってくるという行動を最短経路で行うためのラインの選択をモデリングしている。

ここでのルールは以下である。まず、農家は必ずノードからノードへ移動するが、ラインの途中で戻ることもできる。また、各農家は作成した道路から逸脱することはない。そして、圃場を巡る順番については、最も短い距離で循環し戻ってこられるように並び替えができる。

使用したモデルは図 71 である。第 2 節での図 43~45 では、図 71 のモデルにおいて最小化する変数を、それぞれ圃場を循環する距離(図 43)、コスト距離(図 44)、コスト 2 乗距離(図 45)としてモデルを作り直し計算を行った結果となっている。

以上の方法によって GIS による最短経路を算出したが、農家の移動経路のデータを GIS による最短経路とそのまま比較するとさまざまな問題が生じる。例えば、農家は必ずしも直線的に動かないために GIS 上の経路より距離が長くなりやすい。また、GPS による実測の際に、農家には圃場の周囲をを一周しているため、その分の距離が増している。さらに、道データに反映されないような(のべ 6 人以上が使用しないような)特殊なショートカットを行った際には、逆に移動距離が小さくなる。これは、GIS 地図上のどの経路(ライン)を選択したのか明らかにし、コンピュータ上で計算した最短距離やその他の指標と比較するという観点からは、望ましくない。

以上より、下記の手順で農家の移動経路を GIS 上に条件を揃えたうえで、経路選択を分析した。図 67~72 は、ID129 の農家を例に取った、GIS による最短経路選択と整合させるための農家の移動経路選択の設定とその GIS による最短経路との比較過程である。図 67~72 に共通で、肌色の線が道、緑色の四角形が全農家の圃場、黒色のひし形が共通の出発点、水色の四角形が対象とする ID129 の農家の圃場である。

ID129 の農家が所有する三つの圃場を循環する場合を考える(図 67)。図 68 の灰色の線は、実際に農家が移動した GPS での記録である。特に出発点に近くで、実際の GPS 記録特有の不安定な挙動を示している様子が伺える。この灰色の線から、実測の GPS の記録に最も近くのノードを通過する赤色の線を割り出す(図 69)。この過程は図 64 での GPS ポイントデータのそれぞれのノードへの結合と同様の手順で検討する。その算出結果が図 70 である。図 67 は図 66 と図 68 を重ねた図である。次に、図 71 の青色の線が図 73 での最短経路モデルから算出

された経路である。最後に図 72 は、農家の移動経路による赤い線(図 70)と GIS で計算した青い最短距離の線(図 71)と比較した図である。図 72 では、農家の移動経路である赤色の線を透過させているために、農家の移動経路と GIS で計算した経路が重なっている部分のラインは紫色に見える。この方法によって、農家は GIS による移動経路より短くなることはなく、最短ルートでの農家の移動経路と GIS による計算が 100%一致することになる。

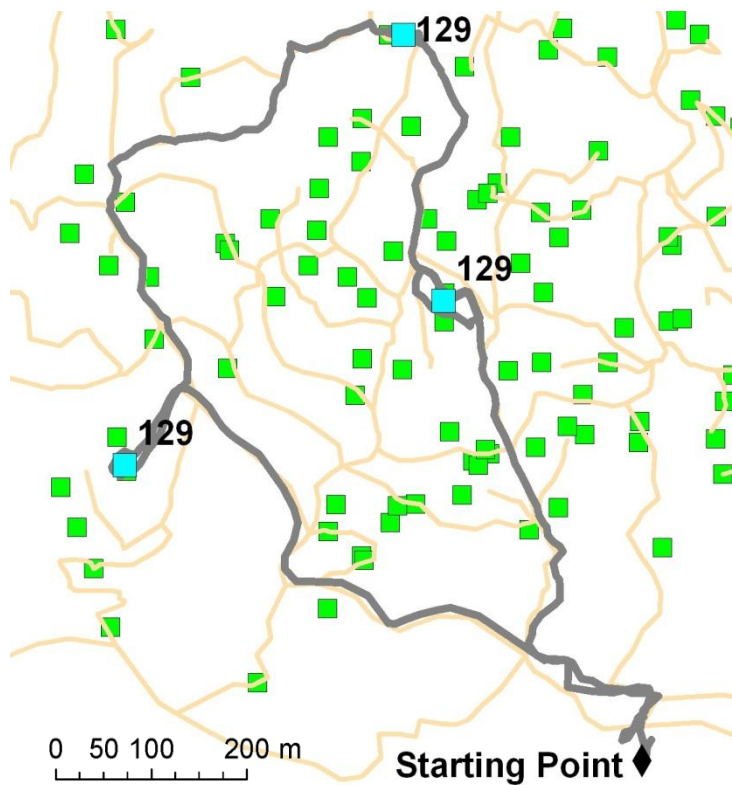
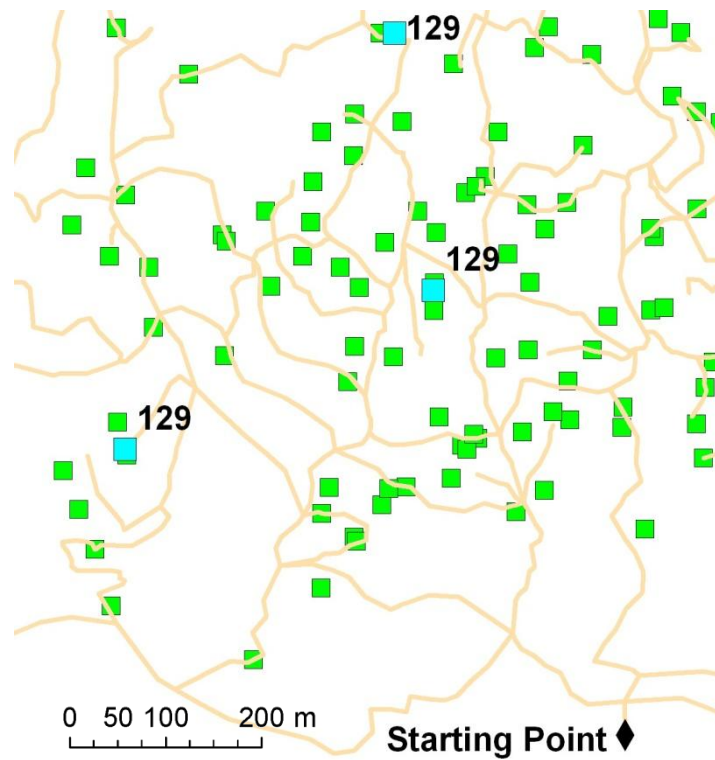


図 67 (上) 農家の循環する圃場の設定

図 68 (下) GPS によって記録した実際の移動経路(灰色)

農家の経路以外の凡例は図 61~65 と共通である

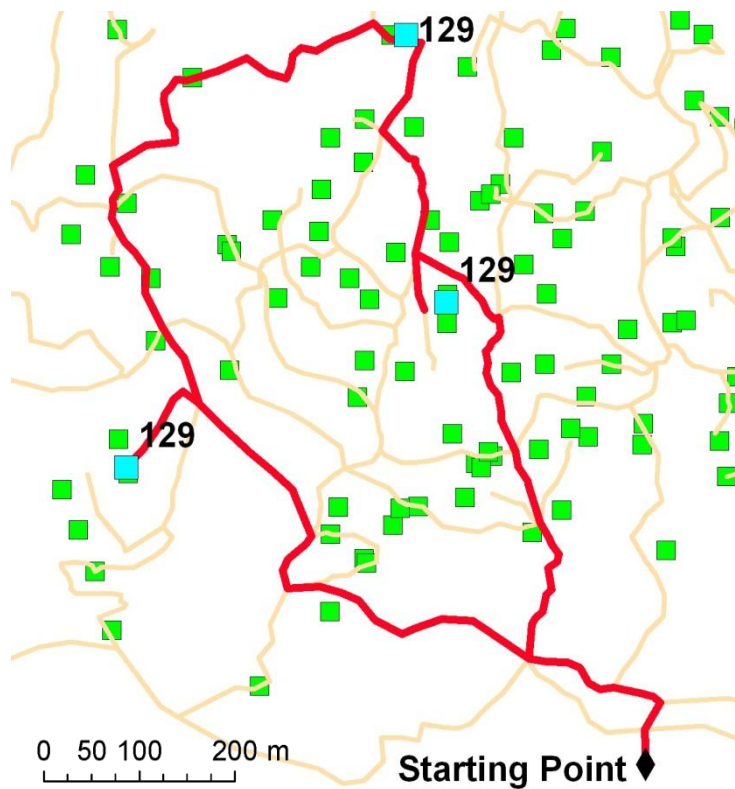
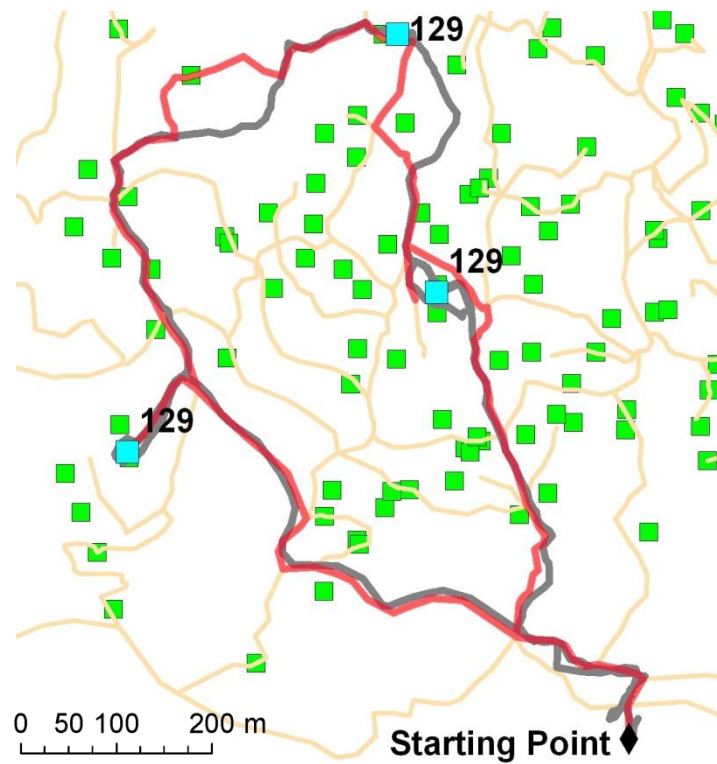


図 69 (上) 農家移動の GPS 記録(灰色)と GPS 記録を GIS 上の「道」にあてはめた経路(赤色)

図 70 (下) GIS 上の「道」にあてはめた農家の移動経路(赤色)

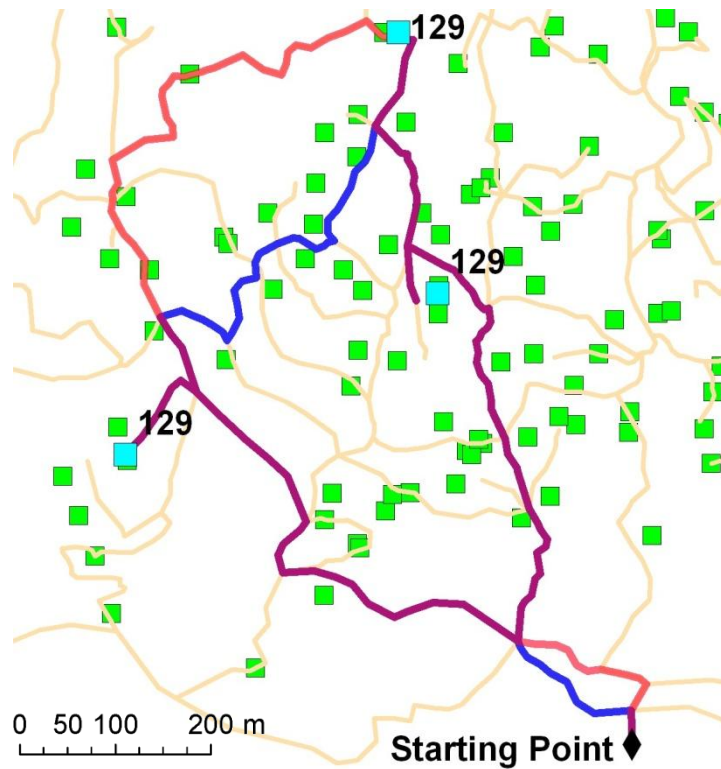
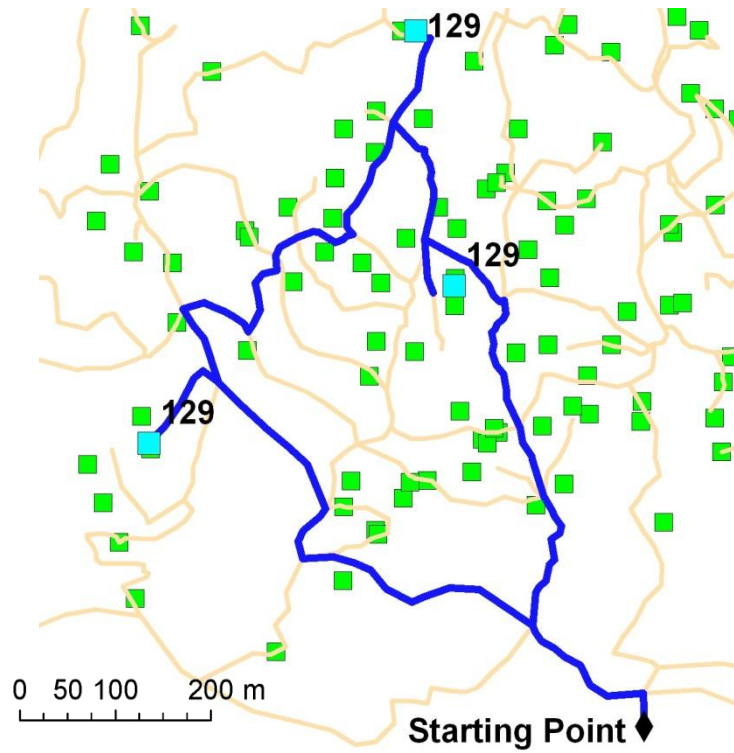


図 71 (上) GIS による最短距離での循環経路(青色)
 図 72 (下) 農家の移動経路(赤色)と GIS による最短距離(青色)の比較図
 ここでは重なる経路は紫色になっている。

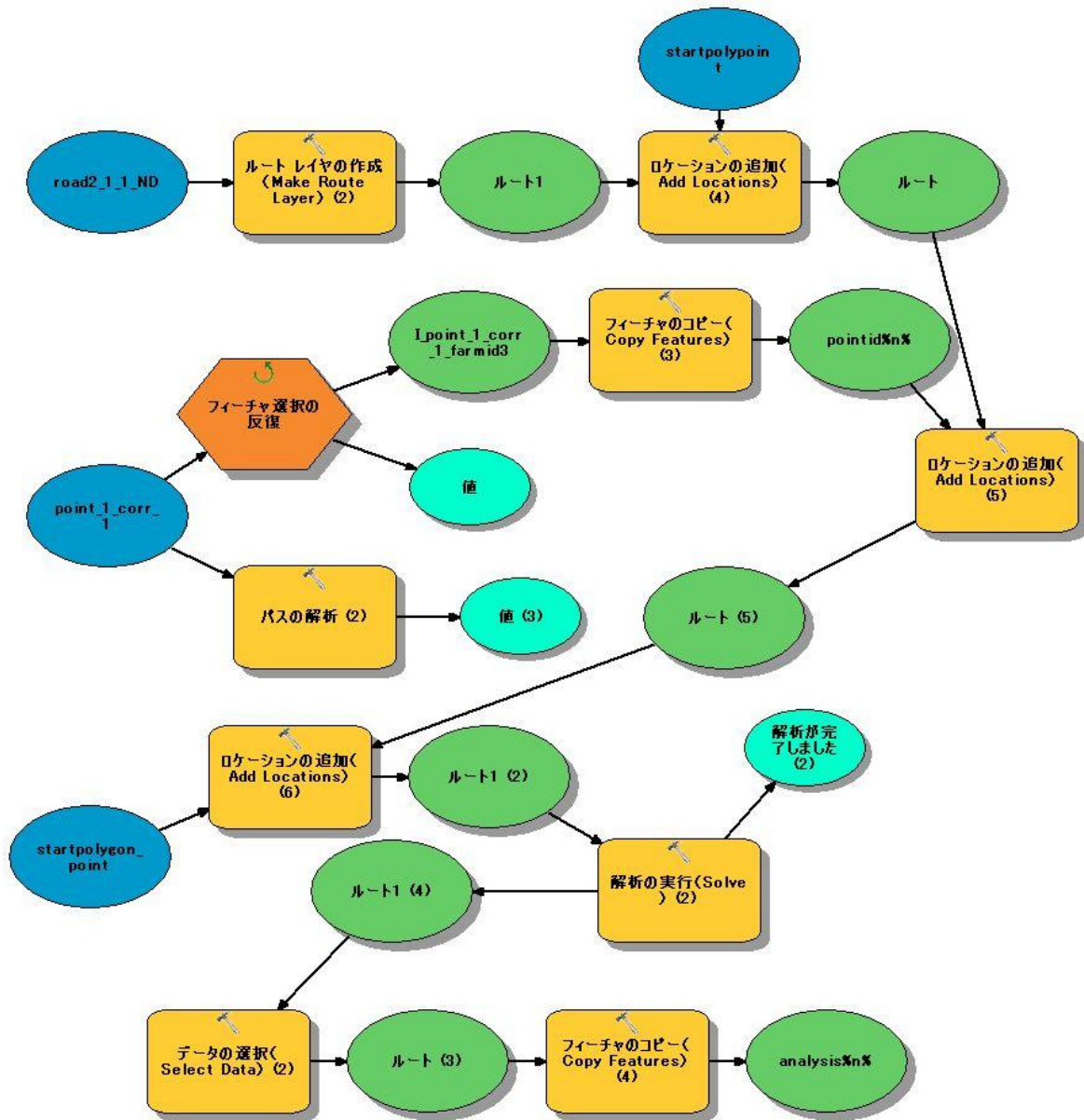


図 73 農家の最短経路での所有圃場循環モデル

出所：筆者作成

図 71 を実行することで最短経路を計算できる。その際、ベースとなる「道」のデータに通過に掛かるコスト²⁴⁴のデータを入れることで、そのコストの総和を最小化するような計算を行うことができる。

²⁴⁴ 本研究では斜度の平方根と斜度を使用。

第5章 おわりに

第1節 分析結果の要約

本研究では、中国雲南省を対象とし、その農地利用に関するリモートセンシング・GIS を利用した経済分析を行ってきた。対象地域は国境に近い遠隔地であるが、雲南省全体が急速な経済発展の最中にあり、そのことの影響は少なからず及んでいることは間違いない。

第1章では、リモートセンシング、GIS の発展とその農業経済分析での利用をまとめ、既存研究の整理を行った。リモートセンシング解析による土地利用分類データは、地理学や生物環境工学のような自然科学分野の他、地域研究や土地利用の経済学的分析にも利用されている。土地利用決定に関する経済モデルはいくつも見られるが、リモートセンシング・GIS を活用した中で重要な研究の一つに Chomitz et al. (1996)があり、そこでモデルの根拠となっている Von Thunen(1966)のモデルは、Nelson et al. (2002)も指摘するように、今日でも、様々な土地利用経済分析の理論的なベースになっている。

一方で、GIS を用いた経済分析も近年多様な広がりを見せており、西村(2009)をはじめとした、より正確な農作業データの取得の他、Williams(1999)や Gonzalez et al. (2007)が行った GIS を用いた圃場の評価や指標の開発、Cay et al. (2013)のような圃場分配シミュレーションが行われる例がある。こうした中、圃場ベースの GIS データ構築やその地理的な分析を、農家調査データをもとにした経済分析と併せて用いた例は少なく、今後の実証研究の蓄積が期待される。

第2章では、中国の制度・政策を概観した上で、中国雲南省の棚田地帯にある4つの県の土地利用を実際にリモートセンシングデータで解析した。解析作業の中で、新しい土地利用判別補正アルゴリズムも適用している。土地利用推計の結果、水田は長期的に漸減していること、森林は開発に伴う減少が見られたが、中国の森林保全政策もあり、その後の回復が見られること、主食用農産物生産地である水田ではなく、経済作物の作付けされる畑地の面積が近年拡大していることが明らかになった。対象地域において、標高の高い土地から順に森林－水田－畑－川という土地利用が見られるなどの指摘は黄他(2011b)、安達(2012)等にもあったが、その経年の変化を明らかにしたのは初めての試みである。

さらに第3章での計量経済分析に先立って、それぞれの土地利用について標高等の地理的特徴を明らかにし、各土地利用の都市（市場）からの距離を郷鎮庁舎からの距離として置き換え、郷鎮庁舎からの距離ごとに面積の増減を見た。分析の結果、標高が低い（生物物理的な条件が良い）土地では、畑の増加が見られ、逆に標高が非常に高い土地や斜度の高い土地では、森林が広がっていた。

さらに、2000年以降、市場からの距離が離れるにつれて、畑－水田－森林と面積が増大していた。市場価格が高く、一方で傷みやすいために輸送コストや生産コストが高くなる経済作物は、自然条件が良く市場が近くの畑地で生産される傾向にあり、そこにはそれぞれの土地での収益性を最大化させようとする意図があると考えられる。市場価格が比較的低い主食用農産物である米も市場の近くで生産されているが、標高が高く、自然条件は畑地より悪い土地で生産されている。さらに農地としての限界収益性がゼロを下回るような、高標高で、市場から遠い地点では、土地は耕地利用されず森林となっている。

第3章では、第2章での土地利用分類結果をもとにして、第1章で議論したチューネンモデルを基礎にした計量経済モデル推計を行った。モデルの推計にあたって、郷鎮庁舎及び道路からの直線距離と斜度を加味したコスト距離を共に推計したところ、コスト距離をモデルに用いた方が推計の説明力が高いことが明らかになった。単純な距離とは異なり、実際にどの程度の数値を表しているのか直感的に捉えにくいという面はあるものの、標高差が激しく、市場への移動にも場所によっては谷や山を越えなければならない本研究の対象地域における分析では、斜度を加味したGIS距離指標が適していると考えられる。

水田や畑は郷鎮庁舎からの距離が近く市場アクセスが良いほど増加することが明らかになった。また、道路の近くで森林は伐採され減少する。同じく1974年で水田であった土地で畑への転換が進んだのは、最寄りの市場からの距離が近い土地ではなく、国道や省道に近く、遠隔地の大きな市場への輸送コストが低い土地であった。地域市場のアクセスが良い土地では水稻の生産が合理的であり、遠隔の大市場とのアクセスが良い土地では商品作物の生産がより合理的であるという土地決定は、本研究でのファインディングスである。また、このことから、畑作の拡大には、交通インフラの整備が大きな影響を与えるといえる。

第2章の分析からは、傾向的に畑面積は拡大しており、特に道路の近く等で畑地が森林や水田に取って代わる可能性が確認された。細かな道路のデータが存在しなかったために、郷鎮庁舎からの距離と道路を複合的に用いた市場距離指標を作成できなかった点は今後の課題といえる。

その他、社会経済的な変数に関しては、人口密度とハニ族郷鎮ダミーの影響が指摘できる。人口密度の高い地域で水田は多く、Lambin(2000)などの過去の研究で見られるような人口圧力が市場価格の上昇を通じて主食用生産農地を拡大させたことが考えられる。また、ハニ族郷鎮ダミーは水田の増加・維持に強い影響を与えていることが明らかにされた。これは、1974年に水田であった土地の2000年での水田の維持を分析した場合にも、同様の結果が得られている。経済的には、生産技術や棚田の整備状況などの生産に関わる要因によって、ハ

ニ族は水田を選択しやすいと考えられる。そして、その習俗・伝統文化などの背景は必ずしも明らかではないが、Zheng (2005)や黄他(2011a)が地域研究で指摘した、ハニ族による棚田の保全が行われてきたという事実は、統計的に示されているといえる。

第4章では、第2章や第3章での分析も踏まえて、雲南省南部の中でも、元陽県全福荘村について農家調査を行い、その圃場分布と生産について分析を行った。対象集落は農地のほとんどが水田であり、複雑に分散した集落の圃場の中で水管理を行っている。本研究では圃場分散の影響を分析したが、それに先だって現地でGPSを利用した情報の収集をし、圃場と農道のマップを作成した。管見の限り、GPSデータのみを用いて道を明らかにした例は皆無であり、その作成手法は途上国などにおける計画論的研究などに貢献できるであろう。

圃場経路分析の結果、農家の移動経路は、GISによって算出した最短距離と非常に高い相関を示し、概ね最短距離となるものであったが、中には最短経路から大きく外れる農家も見られた。そのような農家は、斜度が大きな経路を避けているということが統計的に明らかになった。遠回りする農家は、また、他の農家が利用していない道を利用しがちになるという傾向も見られた。逆に、多数の農家が利用する「幹線道」は最短距離を通る経路となることが多いといえる。集落の一人一人の農家の合理的な経路選択の積み重ねの結果、最短経路に繋がる道が自然と「幹線道」になっていったと考えられる。これは、道の生成過程についての新たな発見の一つである。本研究での集落以外の農道でも、同じように道が形成されているかということは、研究課題の一つであると考えられる。

圃場分散と生産の分析では、農家の効用最大化条件の下での圃場ごとの生産量を推計した。生物物理条件が良い圃場（直線距離が長く標高が低い圃場）では、生産量を上げている。分析では多くの研究でも使用されるシンプソンインデックス(SI)だけでなく通作の時間コスト指標も使い、有意な影響が見られた。農家が最も合理的な活動を行う際に、通作が大変で時間がかかる圃場では、労働力の投下を抑制するなどして、生産量を減らすという実態が定量的に示されている。対象地域では、既にわずかに耕作放棄地が見られている。世帯あたりの圃場の数や、通作の道のりによって、効率性の低い圃場が今後さらに粗放的な管理となる可能性もある。農家によって著しい圃場分散が起きている現状を、通作距離や圃場間の距離を考慮しながら集落内で改善していく必要があると考えられる。

第2節 今後の展望と残された課題

リモートセンシングによる土地利用データやGISデータなどの空間経済的データを社会経済データや個別調査データを併せて用い、計量経済モデルの推計を行った。第3章でのコスト距離や標高、第4章での道のりなどのデータは、統計的に有意に影響を与えることを明らかにした。新たな手法を利用して不足するデータを補足した上で、空間的な差異の影響を明らかにすることは分析力を高めたと言えるであろう。

第2章では、リモートセンシング手法によりデータ作成の際に、経済モデルと統合的な土地利用/土地被覆分類項目を設定し、後の土地利用選択モデルの推計にも役立てている。また、経済分析において重要な「水田」土地利用/土地被覆を正確に分類するために、リモートセンシング解析の工夫をしている。例えばChomitz(1996)は入手した土地利用データの項目ごとに自給的、半自給的、商品作物、という3つのカテゴリーに集計しているが、その分類は、現地での土地利用選択肢に沿った、明確な分け方とは言えない。それと比較して、予め経済モデルに基づいて土地利用/土地被覆を判別することは、モデルの効率性の高い分析フレームワークであると考えられる。本研究では、水田や畑という分け方であるが、今後さらに高頻度・高解像度の衛星画像を使用し作付けする作物種を分類できれば、より聞き取り調査によって得た農家の認識に基づいた、詳細な作目決定を経済分析することが可能であると考えられる。

第3章の計量経済分析では、直線距離ではなく、コスト距離を使用することでモデルの説明力を増やしている。地理的分析では、このコスト距離指標のほかに、本研究では採用しなかったが移動コストなど、様々な指標がある。GISデータを活用し実態に則した変数を用いることで、経済モデルの推計を改善していける可能性がある。その一方で、第4章前半部の集落を対象にした経路選択分析では、道のりの長さをそのまま最小化させた経路の方が、実際の移動に近かった。さらに、圃場生産の推計では、道のりをその距離で推計するよりも、コスト距離を用いて推計した方が説明力が高い結果となった。

このことからまず、細かな道路のデータが無く、直線距離のデータしか手に入らない場合には、斜度を入れたコスト距離を使用した方がモデルの推計が改善されうる。しかし、さらに細かな経路データが取得できる場合、例えば集落内で人の移動などを扱う場合には、逐一その対象を考慮する必要がある。道の経路を選択する際には、距離の最小化に近い判断を行うが、その圃場への道の斜度は、実際の圃場での継続的な作業に負担になっているのではないかと考えられる。

地理学分野で開発された指標は、人間行動の考察は必ずしも第一の課題ではなく、自然環境要因や空間的な広がりそのものが考察の対象とすることも踏まえて²⁴⁵、経済学的観点からどの指標が整合的であるか適宜検討する必要がある。またこのような留意点は、地理学分野から経済学の実証研究にも応用されるようになってきた地理的加重回帰(GWR)²⁴⁶等の空間的な要素を加味した計量モデル分析を行う際にも、十分に心得ておく必要があるだろう。

リモートセンシングデータを使用した経済モデルとして、本研究ではデータ上の制約があって使用していないが、Fezzi(2011)のように、地域の価格データと市場距離を共にモデルに入れ、作物選択行動を分析している例もある。それは英国での作物選択と施肥による環境汚染を分析している。解像度の高い画像で一年以内の複数の時点におけるリモートセンシングデータを用い、作付け作物の種類を判別できるようになれば、このような作物選択の分析をより広範な国と地域でも実行可能となる。その際に、細かな道路網や水路マップ、地域政策の政策範囲などのデータを併せて利用することで、道路インフラ、制度・政策による森林開墾や農作物作付け行動のシミュレーションを行うことができると考えられる。

第4章で行った圃場のGIS分析結果は、もし最適な圃場の割り替えをしようとするならば重要な示唆を与えるだろう。本研究では、農家の最適な経路を算出しているが、このデータに基づいて圃場を最適に再配分する計算も可能であると考えられる。例えばCay et al. (2013)は、GISを駆使しながら参加者の意見を反映した圃場再配分を考察している。圃場の収量や農家の投入量から得た潜在的な圃場の生産性もしくは豊度の指標と圃場面積を明らかにした上で、例えばその豊度や面積が割り替えによって一定以上減少しないという制約のもとで、通作距離の合計値を最小化させるといった計算を行うことも可能である。これは、土地分配の公正性に配慮した上で、通作距離を縮減するという再配分の一策である。

このような圃場の再配分や農地の面的集積に関わる考察は、中国の農村だけではなく、日本の国内においても有用性の高い研究であると考えられる。本間(2010)が日本農業の最大の問題は農地の集積が進んでいないことであると指摘しているように、日本にとって圃場の零細分散は積年の課題であり続けてきた²⁴⁷。安藤(2013)が紹介しているように、2005年から2010年にかけて、農業経

²⁴⁵ Verburg et al. (2004)を参照。

²⁴⁶ Fotheringham et al. (2002)を参照。農業経済分野での実証研究は、Kam et al.(2005), Benson et al. (2005), Murakami et al. (2014)など。

²⁴⁷ 神門(1996)は「大規模経営の育成」が長年にわたるわが国農業政策の最大眼目であり、農地の集積を促進すべく、さまざまな農地流動化対策がおこなわれてきたと述べている。

営体の借り入れ耕地面積が 82.4 万 ha から 106.3 万 ha に増加するなど²⁴⁸, 近年では農地流動化は進んでいるものの, 販売農家数の減少や高齢化など, 農業労働力の減少は深刻化しており, 一層の面的集積と効率化は切迫した課題である.

有本他(2010)は, GIS や GPS を利用することで, 地理的・空間的情報を容易に収集・加工でき, 農地に関わる地理情報の活用も期待できることから農地流動化の研究に寄与するものと指摘している他, 流動化に関わる取引費用に探索費用縮減に効果がある可能性があるとして述べている. GIS を活用して実証研究を進め, 実際の農地集積に貢献することが期待される.

以上, リモートセンシングや GIS の活用は, そのデータの特徴や使用の際の整合性等には十分に考慮する必要があるものの, 農業経済分野の研究に非常に有用なデータや考察を与えうると考えられる.

²⁴⁸ 2010 年農林業センサス(農林水産省)

(http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020101.do?_toGL08020101_&tstatCode=000001032920)

[付記]

本研究は科学研究費助成事業基盤研究(B)(海外学術調査)「中国農業における土地・水資源の利用・管理に関するメカニカルデザイン」(平成 21~24 年度, 研究代表者: 中嶋康博)に参加して得られた成果を取りまとめたものである。

研究を進めるにあたって, 中国雲南省社会科学院, 紅河ハニ族イ族自治州政府, 元陽县政府, (独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所の多大なご支援・ご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を申し上げる。中国での研究活動については, 中国雲南省社会科学院の鄭曉雲先生, 紅河学院楊六金先生, およびスタッフの方々に大変お世話になった。特に元陽県全福荘村での現地調査においては, 雲南省社会科学院と紅河学院との共同調査でなければ農地インタビューや GPS データの収集などを実施できなかった。(独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所の小川茂男氏, 学習院女子大学教授の荘林幹太郎先生, 東京大学助教の高橋太郎先生, (独)日本貿易振興機構アジア経済研究所の山田七絵氏, 北海道大学准教授の合崎英男先生, そして, 指導教官である中嶋康博先生には数えきれないほど多くの貴重なご指導を頂いた。心より深謝申し上げます。最後に, 日常の議論を通じて, 多くの知識や示唆を頂いた食料・資源経済学研究室の皆様には謝意を表したい。

2014 年 12 月
佐藤 赴

引用文献

- Aigner, D., Lovell, C. A. A. & Schmidt, P. (1977) Formulation and estimation of stochastic frontier production function models, *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37.
- Aizaki, H., Sato, K. & Osari, H. (2006) Contingent valuation approach in measuring the multifunctionality of agriculture and rural areas in Japan *Paddy Water and Environment*, 4(4), 217-222.
- Akaike, H. (1974) A new look at the statistical model identification. *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 19(6), 716-723.
- Ali, F., Parikh, A. & Shah, M. (1994) Measurement of profit efficiency using behavioural and stochastic frontier approaches, *Applied Economics*, 26(2), 181-188.
- Alig, R. J. (1986) Econometric analysis of the factors influencing forest acreage trends in the southeast *Forest Science*, 32(1), 119-134.
- Alix-Garcia, J., Kuemmerle, T., & Radeloff, V. C. (2012). Prices, land tenure institutions, and geography: a matching analysis of farmland abandonment in post-socialist Eastern Europe. *Land Economics*, 88(3), 425-443.
- Almeida, C. M. D., Monteiro, A. M. V., Câmara, G., Soares - Filho, B. S., Cerqueira, G. C., Pennachin, C. L., & Batty, M. (2005) GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land - use change. *International Journal of Remote Sensing*, 26(4), 759-774.
- Alonso, W. (1964). *Location and land use. Toward a general theory of land rent. Location and land use*. Harvard University Press, 204pp.
- Andersen, L. E. (1996). The causes of deforestation in the Brazilian Amazon. *The Journal of Environment & Development*, 5(3), 309-328.
- Anselin, L. (2002) Under the hood Issues in the specification and interpretation of spatial regression models, *Agricultural Economics*, 27(3), 247-267.
- Anselin, L. (1988) *Spatial econometrics: methods and models* (Vol. 4), Springer. 284pp.
- Anselin, L. (2010) Thirty years of spatial econometrics, *Papers in Regional Science*, 89(1), 3-25.

- Asner, G. P., Keller, M., Pereira Jr, R. & Zweede, J. C. (2002) Remote sensing of selective logging in Amazonia: Assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis, *Remote Sensing of Environment*, 80(3), 483-496.
- Baraldi, A., Gironde, M. & Simonetti, D. (2010) Operational two-stage stratified topographic correction of spaceborne multispectral imagery employing an automatic spectral-rule-based decision-tree preliminary classifier, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 48(1), 112-146.
- Barbier, E. B., & Burgess, J. C. (1996). Economic analysis of deforestation in Mexico.
- Barbier, E. B. (2001) The economics of tropical deforestation and land use: an introduction to the special issue. *Land Economics*, 77(2), 155-171.
- Bardhan, P.K. & Udry, C. (1999) *Development microeconomics*, Oxford University Press.
- Barlowe, R. (1986) *Land resource economics: The economics of real estate*. Prentice-Hall. 653pp.
- Bastian, C. T., McLeod, D. M., Germino, M. J., Reiners, W. A. & Blasko, B. J. (2002) Environmental amenities and agricultural land values: a hedonic model using geographic information systems data, *Ecological Economics*, 40(3), 337-349.
- Batty, M., Longley, P., Fotheringham, A. S., Brunson, C. & Charlton, M. (2003) Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. John Wiley & Sons, 284pp.
- Benjamin, D. (1992) Household composition, labor markets, and labor demand: testing for separation in agricultural household models, *Econometrica*, 60(2), 287-322.
- Benson, T., Chamberlin, J. & Rhinehart, I. (2005) An investigation of the spatial determinants of the local prevalence of poverty in rural Malawi, *Food Policy*, 30(5), 532-550.
- Bentick, B. L. (1979) The impact of taxation and valuation practices on the timing and efficiency of land use, *The Journal of Political Economy*, 859-868.
- Bently, J. W. (1987) Economic and Ecological Approaches to Land Fragmentation: In Defense of a Much-Maligned Phenomenon, *Annual Review of Anthropology*, 31-67.

- Blackman, A., Albers, H. J., & Murphy, L. C. (2008). Land cover in a managed forest ecosystem: Mexican shade coffee. *American Journal of Agricultural Economics*, 90(1), 216-231.
- Blarel, B., Hazell, P., Place, F. & Quiggin, J. (1992) The economics of farm fragmentation: evidence from Ghana and Rwanda, *The World Bank Economic Review*, 6(2), 233-254.
- Bockstael, N., Costanza, R., Strand, I., Boynton, W., Bell, K. & Waigner, L. (1995) Ecological economic modeling and valuation of ecosystems, *Ecological Economics*, 14(2), 143-159.
- Bockstael, N. E. (1996) Modeling Economics and Ecology: The Importance of a Spatial Perspective, *American journal of agricultural economics*, 78(5), 1168-1180.
- Bockstael, N. E., Irwin, E. G., Tietenberg, T., & Folmer, H. (2001). Economics and the land use-environment link. *The international yearbook of environmental and resource economics 2000/2001: a survey of current issues*, 1-54.
- Brabec, E. & Smith, C. (2002) Agricultural land fragmentation: the spatial effects of three land protection strategies in the eastern United States, *Landscape and Urban Planning*, 58(2), 255-268.
- Brajer, V., Mead, R. W. & Xiao, F. (2011) Searching for an Environmental Kuznets Curve in China's air pollution, *China Economic Review*, 22(3), 383-397.
- Bullock, R. & Connolly, C. (2002). Switching cholinesterase inhibitor therapy in Alzheimer's disease—donepezil to rivastigmine, is it worth it?, *International journal of geriatric psychiatry*, 17(3), 288-289.
- Burgess, E. W. (2008) *The growth of the city: an introduction to a research project*. Springer US. 71-78
- Carpenter, G.A. (1997) ART neural networks for remote sensing: vegetation classification from Landsat TM and terrain data, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 35(2), 308-325.
- Carter, M. R. & Yao, Y. (2002) Local versus Global Separability in Agricultural Household Models: The Factor Price Equalization Effect of Land Transfer Rights, *American Journal of Agricultural Economics*, 84, 702-715.
- Caviglia-Harris, J. L., & Harris, D. W. (2008) Integrating survey and remote sensing data to analyze land use at a fine scale: insights from

- agricultural households in the Brazilian Amazon. *International regional science review*, 31(2), 115-137.
- Cay, T. & Uyan, M. (2013) Evaluation of reallocation criteria in land consolidation studies using the Analytic, *Land Use Policy*, 30(1), 541-548.
- Champbell, J. B. (1996) *Introduction to Remote Sensing*, Talor and Francis, 626pp.
- Chang, K. & Ying, Y. H. (2005) External benefits of preserving agricultural land: Taiwan's rice fields, *The Social Science Journal*, 42(2), 285-293.
- Chen, K. & Brown, C. (2001) Addressing Shortcomings in the Household Responsibility System: Empirical Analysis of the Two-Farmland System in Shandong Province, *China Economic Review*, 12(4), 280-292.
- Chen, Z. & Huffman, W. E., Rozelle, S. (2009) Farm technology and technical efficiency: Evidence from four regions in China, *China Economic Review*, 20(2), 153-161.
- Chomitz, K. M. & Gray, D. A. (1996) Roads, land use, and deforestation: a spatial model applied to Belize, *The World Bank Economic Review*, 10(3), 487-512.
- Chomitz, K. M. & Thomas T. S. (2003) Determinants of land use in Amazonia: a fine-scale spatial analysis, *American Journal of Agricultural Economics*, 85(4), 1016-1028.
- Classen, R. J. (1977) An introduction to geographic information systems, *Computers & Industrial Engineering*, 1(2), 131-138.
- Clarke, K. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical. *Environ Plan B*, 24, 247-261.
- Coisson, T., Oueslati, W., & Salanié, J. (2014) Agri-environmental policy and urban development patterns: A general equilibrium analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 673-689.
- Coelho, J., Portela, J. & Pinto, P. A. A social approach to land consolidation schemes: A Portuguese case study: The Valença Project, *Land Use Policy*, 13(2), 129-147.
- Crecente, R., Alvarez, C. & Fra, U. (2002) Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia, *Land use policy*, 19(2), 135-147.
- De Garis De Lisle, D. (1982) Effects of distance on cropping patterns internal

- to the farm, *Annals of the Association of American Geographers*, 72(1), 88-98.
- De Groot, H. L. Withagen, C. A., & Minliang, Z. (2004) Dynamics of China's regional development and pollution: an investigation into the Environmental Kuznets Curve, *Environment and Development Economics*, 9(4), 507-537.
- Deininger, K., Savastano, S., & Carletto, C. (2012) Land fragmentation, cropland abandonment, and land market operation in Albania. *World Development*, 40(10), 2108-2122.
- Deng, X., Jiyuan, L., Dafang, Z., Jinyan, Z., & Tao, Z. (2002) Modeling the relationship of land use change and some geophysical indicators for the interlock area of farming and pasturing in China. *Journal of Geographical Sciences*, 12(4), 397-404.
- Deng, X., Huang, J., Rozelle, S., & Uchida, E. (2008) Growth, population and industrialization, and urban land expansion of China. *Journal of Urban Economics*, 63(1), 96-115.
- Deng, X., Jiang, Q. O., Zhan, J., He, S. & Lin, Y. (2010) Simulation on the dynamics of forest area changes in Northeast China, *Journal of Geographical Sciences*, 20(4), 495-509.
- Deng, X., Huang, J., Uchida, E., Rozelle, S. & Gibson, J. (2011) Pressure cookers or pressure valves: Do roads lead to deforestation in China? *Journal of Environmental Economics and Management*, 61(1), 79-94.
- Diallo, Y., Hu, G., & Wen, X. (2009) Applications of remote sensing in land use/land cover change detection in Puer and Simao Counties, Yunnan Province. *Journal of American Science*, 5(4), 157-166.
- Engelen, G., White, R., & Nijs, T. (2003) Environment Explorer: spatial support system for the integrated assessment of socio-economic and environmental policies in the Netherlands. *Integrated assessment*, 4(2), 97-105.
- Fathi, A., Krumm, J. (2010) Detecting road intersections from gps traces, *Geographic Information Science*, 56-69.
- Fezzi, C., Bateman, I. J. (2011) Structural agricultural land use modeling for spatial agro-environmental policy analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(4), 1168-1188.
- Fox, J., Kanter, R., Yarnasarn, S., Ekasingh, M. & Jones, R. (1994) Farmer decision making and spatial variables in Northern Thailand,

- Environmental Management*, 18(3), 391-399.
- Fox, J., & Vogler, J. B. (2005). Land-use and land-cover change in montane mainland Southeast Asia. *Environmental Management*, 36(3), 394-403.
- Fotheringham, S. (1989) Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation. *Environment and Planning A*, 21, 1447-1472.
- Fu, P., & Rich, P. M. (2002) A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. *Computers and electronics in agriculture*, 37(1), 25-35.
- Fujita, M. (2010) The evolution of spatial economics: from Thünen to the new economic geography, *Japanese Economic Review*, 61(1), 1-32.
- Geoghegan, J., Villar, S. C., Klepeis, P., Mendoza, P. M., Ogneva-Himmelberger, Y., Chowdhury, R. R., & Vance, C. (2001). Modeling tropical deforestation in the southern Yucatan peninsular region: comparing survey and satellite data. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1), 25-46.
- Gibson, J., & McKenzie, D. (2007) Using global positioning systems in household surveys for better economics and better policy. *The World Bank Research Observer*, 22(2), 217-241.
- Gibson, J., Deng, X., Boe-Gibson, G., Rozelle, S. & Huang, J. (2010) Which households are most distant from health centers in rural China? Evidence from a GIS network analysis, *GeoJournal*, 76(3), 245-255.
- Golley, J. & Xin M. (2011) Has China run out of surplus labour? China's Industrial Structure and Economic Growth, *China Economic Review*, 22(4), 555-572.
- Gonzalez, X. P., Marey, M.F. & Alvarez, C.J. (2007) Evaluation of productive rural land patterns with joint regard to the size, shape and dispersion of plots, *Agricultural Systems*, 92(1), 52-62.
- Gonzalez, X. P., Alvarez, C. J. & Crecente, R. (2004) Evaluation of land distributions with joint regard to plot size and shape, *Agricultural Systems*, 82(1), 31-43.
- Greene, W. H. (1990) A gamma-distributed stochastic frontier model, *Journal of econometrics*, 46(1), 141-163.
- Grossman, G. M. & Krueger, A. B. (1995) Economic growth and the environment, *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377.

- Gui, M., Zhu, W. P., Yu, G. & Zhang, P. Y. (2003) Release regularity of agricultural non-point pollution in drainage area in Dianchi region. *Journal of Agro-Environment Science*, 22(1), 1-5.
- Habakkuk, H. J. (1955) Family structure and economic change in nineteenth-century Europe, *The Journal of Economic History*, 15(1), 1-12.
- Herold, M., Goldstein, N. C., & Clarke, K. C. (2003) The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote sensing of Environment*, 86(3), 286-302.
- Healy, R. G. & Short, L. S. (1982) *The Market For Rural Land: Trends, Issues, Policies*, The Conservation Foundation, 306pp.
- Heilig, G. K. (1997). Anthropogenic factors in land-use change in China. *Population and development review*, 139-168.
- Hilferink, M., & Rietveld, P. (1999) Land Use Scanner: An integrated GIS based model for long term projections of land use in urban and rural areas. *Journal of Geographical Systems*, 1(2), 155-177.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. (1993) *Global Positioning System. Theory and practice*, Springer, 382pp.
- Hoover, E. M. (1984) *An Introduction to Regional Economics*, Mcgraw-Hill College, 444pp.
- Hoshino, S. (2001) Multilevel modeling on farmland distribution in Japan, *Land Use Policy*, 18(1), 75-90.
- Hoyt, H. (1939) *The structure and growth of residential neighborhoods in American cities*. Washington:U.S. Federal Housing Administration, 204pp.
- Hurtubia, R., & Bierlaire, M. (2011) Bid rent model for simultaneous determination of location and rent in land use microsimulations. *In Swiss Transport Research Conference*
- Hurtubia, R., & Bierlaire, M. (2014) Estimation of bid functions for location choice and price modeling with a latent variable approach. *Networks and Spatial Economics*, 14(1), 47-65.
- Ilbery, B. W. (1984) Farm Fragmentation in the Vale of Evesham, *Area*, 16(2),159-165.
- Irwin, E. G. & Geoghegan, J. (2001) Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85(1), 7-24.

- Irwin, E. G. & Bockstael, N. E. (2002) Interacting agents, spatial externalities, and the endogenous evolution of residential land use patterns, *Journal of Economic Geography*, 2(1), 31-54.
- Irwin, E.G., Bell, K.P. & Geoghegan, J. (2003) Modeling and managing urban growth at the rural-urban fringe: a parcel-level model of residential land use change, *Agricultural and Resource Economics Review*, 32(1), 83-102.
- Jia, L. & Petrick, M. How land fragmentation affects off-farm labor supply in China: Evidence from household panel data (2012) *Foz do Iguacu, Brazil: International Association of Agricultural Economists. In 2012 Conference, (No. 126263), 25pp.*
- Jianchu, X., Fox, J., Xing, L., Podger, N., Leisz, S., & Xihui, A. (1999) Effects of swidden cultivation, state policies, and customary institutions on land cover in a Hani village, Yunnan, China. *Mountain Research and Development*, 123-132.
- Jianchu, X., Fox, J., Vogler, J. B., Yongshou, Z. P. F., Lixin, Y., Jie, Q., & Leisz, S. (2005) Land-use and land-cover change and farmer vulnerability in Xishuangbanna prefecture in southwestern China. *Environmental Management*, 36(3), 404-413.
- Jiyuan, L., Mingliang, L., Xiangzheng, D., Dafang, Z., Zengxiang, Z., & Di, L. (2002) The land use and land cover change database and its relative studies in China. *Journal of Geographical Sciences*, 12(3), 275-282.
- Joshi, R.K., Rawat, G.S., Padaliya, H. & Roy, P.S. (2005) Land use/land cover identification in an alpine and arid region (Nubra Valley, Ladakh) using satellite remote sensing, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 33(3), 371-380.
- Kam, S. P., Hossain, M., Bose, M. L., & Villano, L. S. (2005) Spatial patterns of rural poverty and their relationship with welfare-influencing factors in Bangladesh, *Food Policy*, 30(5), 551-567.
- Kawasaki, K. (2010) The costs and benefits of land fragmentation of rice farms in Japan, *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54(4), 509-526.
- Kelliher, D. (1986) The Political Consequences of China's Reforms, *Journal of Comparative Politics*, 18(4), 479-493,
- Khan, S., Hanjra, M. A. & Mu, J. (2009) Water management and crop production for food security in China: A review, *Agricultural Water*

- Management*, 96(3), 349-360.
- Khanal, A. R., Mishra, A. K., Lambert, D. M. & Paudel, K. P., (2013) A Bayesian Analysis of GPS Guidance System in Precision Agriculture: The Role of Expectations, *Washington: 2013 Annual Meeting, Agricultural and Applied Economics Association*, 25pp.
- Kijima, M., Nishide, K. & Ohyama, A.(2010) Economic models for the environmental Kuznets curve: A survey, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 34(7), 1187-1201.
- Kim, T. C., Gim, U. S., Kim, J. S. & Kim, D. S. (2006) The multi-functionality of paddy farming in Korea, *Paddy and Water Environment*, 4(4), 169-179.
- King, R. L.(1977) *Land Reform: A World Survey (Advanced Economic Geography)*, Collins Educational, 462pp.
- King, R. L. (1983) Structural change in agriculture: the geography of land consolidation, *Progress in Human Geography*, 7(4), 471-501.
- Lai, S. K. (2003) On transition rules of complex structures in one-dimensional cellular automata: Some implications for urban change. *The Annals of Regional Science*, 37(2), 337-352.
- Lambert, A. M. (1963) *Farm consolidation in western Europe*, *Geography*, 48(1), 31-48
- Lambin, E. F., Rounsevell, M. D. A., & Geist, H. J. (2000) Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1), 321-331.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W. & Xu, J. (2001) The causes of land use and land cover change: moving beyond myth, *Global Environment Change*, 11(4), 261-269.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 28(1), 205-241.
- Larkin, S. L., Larson, J. A., Paxton, K. W., English, B. C., Marra, M. C. & Reeves, J. M. (2008) A binary logit estimation of factors affecting adoption of GPS guidance systems by cotton producers, *Journal of agricultural and applied economics*, 40(1), 345–355.
- Launhardt, W. (1968) “Excerpts from Mathematische Begründung der Volkswirtschaftslehre,” in William J. Baumol, W. and Stephen M. Goldfeld eds. 1885, *Precursors in Mathematical Economics: An*

- Anthology. London: London School of Economics, 28-3
- Lewis, W. A. (1954) Economic development with unlimited supplies of labour
The manchester school, 22(2), 139-191.
- Lewis, D. J., & Plantinga, A. J. (2007) Policies for habitat fragmentation: combining econometrics with GIS-based landscape simulations. *Land Economics*, 83(2), 109-127.
- Li, X., & Yeh, A. G. O. (2002) Urban simulation using principal components analysis and cellular automata for land-use planning. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(4), 341-352.
- Li, M., Wu, J.J. & Deng, X. (2013) Identifying Drivers of Land Use Change in China: A Spatial Multinomial Logit Model Analysis, *Land Economics*, 89(4), 632-654.
- Li, X. & Yeh, A. G. O. (2004) Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS, *Landscape and Urban Planning*, 69(4), 335-354.
- Liang, S., Fang, H. & Chen, M. (2001) Atmospheric correction of Landsat ETM+ land surface imagery. I. Methods, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 39(11), 2490-2498.
- Lichtenberg, E., & Ding, C. (2009). Local officials as land developers: Urban spatial expansion in China. *Journal of Urban Economics*, 66(1), 57-64.
- Lin, G., & Ho, S. P. (2003) China's land resources and land-use change: insights from the 1996 land survey. *Land use policy*, 20(2), 87-107.
- Lin, T. C. (2005) Land assembly in a fragmented land market through land readjustment, *Land Use Policy*, 22(2), 95-102.
- Lin, J. Y. (1992) Rural reforms and agricultural growth in China, (*American Economic Review* 82(1), 34-51.
- Liu, J., Liu, M., Zhuang, D., Zhang, Z., & Deng, X. (2003). Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995–2000. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 46(4), 373-384.
- Liu, J., Liu, M., Tian, H., Zhuang, D., Zhang, Z., Zhang, W., & Deng, X. (2005) Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990–2000: an analysis based on Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 98(4), 442-456.
- Liu, J., Li, S., Ouyang, Z., Tam C. & Chen, X. (2008) Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services,

- Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9477-9482.
- Liu, J., Zhang, Z., Xu, X., Kuang, W., Zhou, W., Zhang, S. & Jiang, N. (2010) Spatial Patterns and Driving Forces of Land Use Change in China in the Early 21st Century, *Journal of Geographical Sciences*, 20(4), 483-494.
- Liu, Z. Q., & Satur, R. (1999) Contextual fuzzy cognitive map for decision support in geographic information systems. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 7(5), 495-507.
- Long, H., Tang, G., Li, X., & Heilig, G. K. (2007) Socio-economic driving forces of land-use change in Kunshan, the Yangtze River Delta economic area of China. *Journal of Environmental Management*, 83(3), 351-364.
- Longley, P. A. (1999) *Geographic Information Systems: Principles and Applications*, Longman, 1296pp.
- Lubowski, R. N., Plantinga, A. J., & Stavins, R. N. (2006) Land-use change and carbon sinks: econometric estimation of the carbon sequestration supply function. *Journal of Environmental Economics and Management*, 51(2), 135-152.
- Ludeke, A. K., Maggio, R. C., & Reid, L. M. (1990) An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS. *Journal of Environmental Management*, 31(3), 247-259.
- Mainardi, S. (2011) Cropland use, yields, and droughts: spatial data modeling for Burkina Faso and Niger, *Agricultural Economics*, 42(1), 17-33.
- Mann, M. L., Kaufmann, R. K., Bauer, D., Gopal, S., Vera-Diaz, M. D. C., Nepstad, D. & Amacher, G. S. (2010). The economics of cropland conversion in Amazonia: the importance of agricultural rent. *Ecological Economics*, 69(7), 1503-1509.
- Martinez, F. J. (1992) The bid-choice land-use model: an integrated economic framework. *Environment and Planning A*, 24(6), 871-885.
- Matsuno, Y., Nakamura, K., Masumoto, T., Matsui, H., Kato, T. & Sato, Y. (2006) Prospects for multifunctionality of paddy rice cultivation in Japan and other countries in monsoon Asia, *Paddy Water and Environment*, 4(4), 189-197.
- McKetta, C.W. (1980) *Proceedings of the Convention of the Society of American Foresters*, *Journal of Forestry*, 178-188.

- McMillen, D. P. & McDonald, J. F.,(1993) Could zoning have increased land values in Chicago?, *Journal of Urban Economics*, 33(2), 167-188.
- McMillen, D. P., & McDonald, J. F. (1998). Population density in suburban Chicago: a bid-rent approach. *Urban Studies*, 35(7), 1119-1130.
- Meeusen, W. & Broeck, V. D. J. (1997) Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error, *International economic review* 18(2), 435-444.
- Meliczek, H. (1973) The work of FAO and experiences in land consolidation, *Land Reform, Land Settlement and Cooperatives*, 1, 50-64.
- Mertens, B. & Lambin, E.F. (2000) Land-cover-change trajectories in southern Cameroon, *Annals of the association of American Geographers*, 90(3), 467-494.
- Moreno, G., & Sunding, D. L. (2005) Joint estimation of technology adoption and land allocation with implications for the design of conservation policy. *American Journal of Agricultural Economics*, 87(4), 1009-1019.
- Montello, D. R. (2002) Cognitive map-design research in the twentieth century: Theoretical and empirical approaches. *Cartography and Geographic Information Science*, 29(3), 283-304.
- Muller, D. & Zeller, M. (2002) Land use dynamics in the central highlands of Vietnam: a spatial model combining village survey data with satellite imagery interpretation, *Agricultural Economics*, 27(3), 333-354.
- Munroeaic, D. K., Southworth, J. & Tucker, C. M. (2002) The dynamics of land - cover change in western Honduras: exploring spatial and temporal complexity, *Agricultural Economics*, 27(3), 355-369.
- Murakami, T., Nakajima, S., Takahashi, T., Nishihara, Y., Imai, A., Kikushima, R. & Sato, T. (2014) Spatially Varying Impacts of Farmers Markets on Agricultural Land Use, *Working Paper*,
- Nelson, G. C. & Hellerstein, D. (1997) Do roads cause deforestation? Using satellite images in econometric analysis of land use, *American Journal of Agricultural Economics*, 79(1), 80-88.
- Nelson, G. C., Harris, V., & Stone, S. (1999). Spatial econometric analysis and project evaluation: modeling land use change in the Darién. *Inter-American Development Bank*, 28pp.
- Nelson, G. C., Harris, V., & Stone, S. W. (2001) Deforestation, land use, and property rights: empirical evidence from Darien, Panama. *Land Economics*, 77(2), 187-205.

- Nelson, G. C. (2002) Introduction to the special issue on spatial analysis for agricultural economist, *Agricultural Economics*, 27(3), 197-200.
- Nelson, G. C. & Geoghegan, J. (2002) Deforestation and land use change: sparse data environments, *Agricultural Economics*, 27(3), 201-216.
- Netting, R. (1972) Of Men and Meadows: Strategies of Alpine Land Use, *Anthropological Quarterly*, 45(3), 132-144.
- Nguyen, T., Cheng, E. & Findlay, C. (1996) Land Fragmentation and Farm Productivity in China in the 1990s, *China Economic Review*, 7(2), 169-180.
- OECD (1964) *Low incomes in agriculture : problems and policies*, OECD, 515pp.
- Ogawa, S. (1998) Monitoring of Rice Field using SAR Data and Optical Data, *Proceedings of the Second International Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications*, 155-159.
- Okamoto, K. & Fukuhara, M. (1996) Estimation of paddy field area using the area ratio of categories in each mixel of Landsat TM, *International Journal of Remote Sensing*, 17(9), 1735-1749.
- Ostwald, M. & Chen, D. (2006) Land-use change: Impacts of climate variations and policies among small-scale farmers in the Loess Plateau, China, *Land Use Policy*, 23(4), 361-371.
- Overman, H.G. (2006) *Geographical Information Systems (GIS) and Economics, Working Paper*, 5pp.
- Parikh, A. & Shah, K. (1994) Measurement of Technical Efficiency in the North-west Frontier Province of Pakistan, *Journal of Agricultural Economics*, 45(1), 132-138.
- Phadke, D. N. (2006) *Geographical Information Systems (GIS) in library and information services*, Concept Publishing Company. 162pp.
- Place, F., & Otsuka, K. (2000). Population pressure, land tenure, and tree resource management in Uganda. *Land economics*, 233-251.
- Plantinga, A. J. (1996) The effect of agricultural policies on land use and environmental quality. *American Journal of Agricultural Economics*, 78(4), 1082-1091.
- Rambold, F. (2003) *Land fragmentation and its impact in Central and Eastern European countries*, FAO Economic and Social Development Department.

- Rashford, B. S., Walker, J. A., & Bastian, C. T. (2011) Economics of grassland conversion to cropland in the Prairie Pothole Region. *Conservation Biology*, 25(2), 276-284.
- Rawski, T. G. (2001) What is happening to China's GDP statistics?, *China Economic Review*, 12(4), 347-354.
- Ray, N. (2005) PATHMATRIX: a geographical information system tool to compute effective distances among samples, (*Molecular Ecology Notes*, 5(1), 177-180.
- Rees, G. W. (2012) *Physical principles of remote sensing*, Cambridge University Press, 460pp.
- Reynolds, J. E. & Timmons, J. F. (1969) *Factors affecting farmland values in the United States*, Iowa State University of Science and Technology, 301-375.
- Ricard, D. (1817) *The Principles of Political Economy and Taxation*, (Dover edition 2004, Dover Publications, 320pp.)
- Rozelle, S. & Swinnen, J. F. (2004) Success and Failure of Reform: Insight from the Transition of Agriculture, *Journal of Economic Literature*, 404-456.
- Rudel, T. K. & Coomes, O. T. (2005) Moran, E., Achard, F., Angelsen, A., Xu, J., Lambin, E. Forest transitions: towards a global understanding of land use change, *Global Environmental Change*, 15(1), 23-31.
- Sadoulet, E. & De Janvry, A. (1995) *Quantitative development policy analysis*, Johns Hopkins University Press, 416pp.
- Santé, I., García, A. M., Miranda, D., & Crecente, R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: a review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 108-122.
- Sato, T., Imai, A., Murakami, T., Nishihara, Y., Kikushima, R., Nakajima, S., & Nakashima, Y. (2013) Geo-Agricultural Database as a Platform for Mechanism Design. *Journal of Agricultural & Food Information*, 14(4), 334-347.
- Schroedl, S., Wagstaff, K., Rogers, S., Langley, P. & Wilson, C. (2004) Mining GPS traces for map refinement, *Data mining and knowledge Discovery*, 9(1), 59-87.
- Seto, K. C. & Robert K. K. (2003) Modeling the drivers of urban land use change in the Pearl River Delta, China: Integrating remote sensing with socioeconomic data, *Land Economics*, 79(1), 106-121.

- Seto, K. C., Woodcock, C. E., Song, C., Huang, X., Lu, J. & Kaufmann, R. K. (2002) Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM, *International Journal of Remote Sensing*, 23(10), 1985-2004.
- Shalaby, A. & Tateishi, R. (2007) Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt, *Applied Geography*, 27(1), 28-41.
- Shieh, Y. N. (2003). An early use of bid rent functions. *Urban Studies*, 40(4), 791-795.
- Smil, V. (1999). China's agricultural land. *The China Quarterly*, 158, 414-429.
- Smith, C. T. (1978) *An Historical Geography of Western Europe Before 1800*, Longman Press. 644pp.
- Song, T., Zheng, T. & Tong, L. (2008) An empirical test of the environmental Kuznets curve in China: a panel cointegration approach, *China Economic Review*, 19(3), 381-392.
- Srivastava, P. K., Mukherjee, S., & Gupta, M. (2010). Impact of urbanization on land use/land cover change using remote sensing and GIS: a case study. *International Journal of Ecological Economics and Statistics*, 18(S10), 106-117.
- Staal, S. J., Baltenweck, I., Waithaka, M. M. DeWolff, T. & Njoroge, L. (2002) Location and uptake: integrated household and GIS analysis of technology adoption and land use, with application to smallholder dairy farms in Kenya, *Agricultural Economics*, 27(3), 295-315.
- Stanilov, K. (2003) Accessibility and land use: the case of suburban Seattle, 1960-1990. *Regional Studies*, 37(8), 783-794.
- Stacy, L. O. & Marvin, E. B. (2002) Satellite remote sensing of wetlands, *Wetlands Ecology and Management*, 10(5), 381-402.
- Stavins, R. N., & Jaffe, A. B. (1990) Unintended impacts of public investments on private decisions: the depletion of forested wetlands. *The American Economic Review*, 337-352.
- Synder, S. & ReVelle, C. (1996) The grid packing problem: selecting a harvesting pattern in an area with forbidden regions, *Forest Science*, 42(1), 27-34.
- Tan, S., Heerink, N., Kruseman, G. & Qu, F. (2008) Do fragmented landholdings have higher production costs? Evidence from rice farmers

- in Northeastern Jiangxi province P.R. China, *China Economic Review*, 19(3), 347-358.
- Tan, S., Heerink, N. & Qu, F. (2006) Land fragmentation and its driving forces in China, *Land use policy*, 23(3), 272-285.
- Takahashi, T., Sato, T., Aizaki, H., Guo, N., Nakashima, Y., Ogawa, S. & Zheng, X. (2013) Three-dimensional spatial correlation. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 6(3), 163-175.
- Thapa, R. B. & Murayama, Y. (2008) Land evaluation for peri-urban agriculture using analytical hierarchical process and geographic information system techniques: A case study of Hanoi, *Land use policy*, 25(2), 225-239.
- Verburg, P.H. & Veldkamp, A. (2001) The role of spatially explicit models in land-use change research: a case study for cropping patterns in China, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85(1), 177-190.
- Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., & Mastura, S. S. (2002) Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental management*, 30(3), 391-405.
- Verburg, P. H., Schot, P. P. Dijst, M. J. & Veldkamp, A. (2004) Land use change modelling: current practice and research priorities, *GeoJournal*, 61(4), 309-324.
- Verburg, P. H., & Overmars, K. P. (2007) Dynamic simulation of land-use change trajectories with the CLUE-s model, *Modelling land-use change*, 321-337.
- Von Thunen, J.H. (1966) *Von Thunen's Isolated State*(Clark, C., 1967), Pergamon Press.
- Wadud, A. & White, B. (2000) Farm household efficiency in Bangladesh: a comparison of stochastic frontier and DEA methods, *Applied economics*, 32(13), 1665-1673.
- Waggener, T. R. (1984) Tradition versus Change in Forest Land Use, Bradley, G. A. (ed) *Land Use and Forest Resources in a Changing Environment: The Urban/forest Interface*, University of Washington Press. 229pp.
- Walker, R. (2004) Theorizing land-cover and land-use change: The case of tropical deforestation. *International Regional Science Review*, 27(3), 247-270.
- Walton, J. C., Larson, J. A., Roberts, R. K., Lambert, D. M., English, B. C.,

- Larkin, S. L. & Reeves, J. M. (2010) Factors Influencing Farmer Adoption of Portable Computers for Site-Specific Management: A Case Study for Cotton Production, *Journal of Agricultural & Applied Economics*, 42(2), 193-209.
- Wan, G. H. & Cheng, E. (2001) Effects of land fragmentation and returns to scale in the Chinese farming sector, *Applied Economics*, 33(2), 183-194.
- Wang, X., Herzfeld, T. & Glauben, T. (2007) Labor allocation in transition: Evidence from Chinese rural households, *China Economic Review*, 18, 287-308.
- Weng, Q. (2002) Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling, *Journal of environmental management*, 64(3), 273-284.
- White, R., & Engelen, G. (1997) Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and planning B*, 24, 235-246.
- Williams, K. (1999) Urban intensification policies in England: problems and contradictions, *Land Use Policy*, 16(3), 167-178.
- World Bank, *World Development Report*, Oxford University Press, 1992.
- World Bank, *World Development Report*, Oxford University Press, 2010.
- Wheaton, W. C. (1974) A comparative static analysis of urban spatial structure. *Journal of Economic Theory*, 9(2), 223-237.
- Wheaton, W. C. (1977) Income and urban residence: An analysis of consumer demand for location. *The American Economic Review*, 620-631.
- White, F. C., & Fleming, F. N. (1980) An analysis of competing agricultural land uses. *Southern Journal of Agricultural Economics*, 12(4), 99-103.
- White, R., & Engelen, G. (1993) Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and planning A*, 25(8), 1175-1199.
- Wu, F., & Webster, C. J. (1998) Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. *Environment and Planning B*, 25, 103-126.
- Wu, J. & Cho, S. H. (2007) The effect of local land use regulations on urban development in the Western United States *Regional Science and Urban Economics*, 37(1), 69-86.
- Wu, Z., Liu, M. & Davis, J. (2005) Land consolidation and productivity in Chinese household crop production, *China Economic Review*, 16(1),

28-49.

- Xiangzheng, D., Jiyuan, L., Dafang, Z., Jinyan, Z. & Tao, Z. (2002) Modeling the relationship of land use change and some geophysical indicators for the interlock area of farming and pasturing in China, *Journal of Geographical Sciences*, 12(4), 397-404.
- Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y. & Huang, Z. (2006) Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing, *Landscape and urban planning*, 75(1), 69-80.
- Yeh, A. G. O., & Li, X. (2003) Simulation of development alternatives using neural networks, cellular automata, and GIS for urban planning. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(9), 1043-1052.
- Yu, C., Yuhuan, W., Yangjian, Z., Jie, T., & Qian, Z. (2012) Landscape spatial pattern analysis for a traditional agricultural landscape of Hani terrace in southwestern China. In *Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2012 2nd International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.
- Zheng, X. (2005) *Water culture of the ethnic minorities in Tunnan province and protection of water resources in the contemporary era*, Yunnan publishing, 160pp.

合崎英男 (2003) 「生態系との調和に配慮した水田農業の環境便益の評価: 選択実験と仮想状況評価法による便益額の比較」『農業経済研究. 別冊, 日本農業経済学会論文集』2003, 347~349.

明石光一郎 (2011) 「中国農業部門における過剰労働力に関する一考察」農林水産政策研究所『平成22年度カントリーレポート: 中国, タイ』農林水産政策研究所, 81~94.

秋山侃・斎藤元也・福原道一・深山一弥・(1996) 『農業リモートセンシング 環境と資源の定量的解析』養賢堂, 166pp.

秋山侃・小川茂男・岡本勝男・斎藤元也・内田諭・石塚直樹 (2007) 『農業リモートセンシング・ハンドブック』システム農学会, 280pp.

安達真平 (2012) 「雲南省の哀牢山地の他民族棚田地域における灌漑システム」『ヒマラヤ学誌』13, 341~353.

安藤光義 (2013) 『日本農業の構造変動 2010年農業センサス分析』農林統計協会, 224pp.

- 有本寛・中嶋晋作 (2010) 「農地の流動化と集積をめぐる論点と展望」 『農業経済研究』 82(1), 23~35.
- 池上彰英 (1989) 「中国における農業技術普及体制の再編」 『農業総合研究』 43(2), 69~99.
- 池上彰英 (1994) 「中国における食糧流通システムの転換」 『農業総合研究』 48(2), 1~129.
- 池上彰英 (2007) 「中国の「三農」問題と農業政策」 久保田 義喜『アジア農村発展の課題—台頭する四カ国—地域』 筑波書房, 52~97.
- 池上彰英 (2009) 「農業問題の転換と農業保護政策の展開」 池上彰英, 寶劔久俊 編『中国農村改革と農業産業化』 27~61.
- 池上彰英 (2012) 『中国の食糧流通システム』 御茶の水書房, 219pp.
- 磯野弥生 (2013) 「雲南省における開発政策のグリーン化の可能性—持続可能な社会に向けて—」 村上勝彦, 松本光太郎 編『中国雲南省の開発と環境』 日本経済評論社, 13~66.
- 井上憲一・藤栄剛・山岸主門 (2011) 「圃場分散が対比運搬散布サービスの作業効率に及ぼす影響」 『農業経営研究』 49(1), 33~38.
- 馬盧鵬 (2009) 『雲海梯田里的寨子：雲南省元陽縣箐口村調査』 民族出版社 459pp.
- 内田多喜生 (2005) 「GIS (地理情報システム) と地域農業振興」 『調査と情報』 農林中金総合研究所, 9~13.
- 宇都正哲, & 浅見泰司. (2001). 地価や周辺地域の状況が土地利用遷移に与える影響に関する研究--東京 23 区を対象として. 都市住宅学, (33), 101-110.
- 梅本雅 (2010) 「圃場分散に伴う団地間・圃場間移動の実態—茨城県西部の大規模水田作経営を事例として」 『関東東海農業経営研究』 100, 55~58.
- 平成 18~20 年度 衛星リモートセンシング推進委員会 環境ワーキンググループ (2009) 『ALOS 先導的利用研究 成果報告書』 . リモート・センシング技術センター, 75pp.
- 袁堂軍 (2010) 『中国の経済発展と資源配分：1860-2004』 東京大学出版会, 288pp.
- 遠藤和子 (1999) 「中山間地域における保全すべき農地判別のための自主的土地利用区分手法の開発」 『農村計画論文集』 1, 283~288.
- 王楽平 (2002) 「中国食糧流通体制の変遷と改革—雲南省石林県を事例に—」 中兼和津次 編 『中国農村経済と社会の変動—雲南省石林県のケーススタディー』 御茶の水書房, 177~215.
- 黄紹文・稲村務訳 (2011a) 「ハニ族の棚田—千年の労作から世界文化遺産候補へ—」 『地理歴史人類学論集』 , 2 , 57~105.

- 黄紹文・尹紹亭 (2011b) 「中国雲南省哀牢山地に於けるハニ族の伝統的な棚田農耕生態」『ヒマラヤ学誌』 12, 182~197.
- 大塚啓二郎 (2006) 『中国 農村の労働力は枯渇』 日本経済新聞, 2006 年 10 月 9 日.
- 大塚健司 (2008a) 「中国の地方環境政策に対する監督検査活動—その役割と限界—」寺尾忠能,大塚健司 編『アジアにおける分権化と環境政策』アジア経済研究所 79~117.
- 大塚健司 (2008b) 「流域ガバナンスの視座—中国・日本における制度改革の模索—」大塚健司 編『流域ガバナンス —中国・日本の課題と国際協力の展望—』アジア経済研究所, 3~32.
- 何宣 (2004) 「「緑色経済」の構想と施策」波平元辰編 『雲南の「西部大開発」』九州大学出版会,57~67.
- 唐渡広志 (2002) ヘドニック・アプローチによる集積の外部経済の計測—東京都賃貸オフィス市場の実証分析. 日本経済研究, (45), 41-67.
- 川崎賢太郎 (2009) 「耕地分散が米生産費および要素投入に及ぼす影響」『農業経済研究』 81(1),14~24.
- 神頭広好 (2013) 『都市化の集積経済効果と空間距離』 愛知大学経営総合科学研究会叢書, 41, 46pp.
- 菊池真純 (2012) 「旅行業の発展によって景観地化する棚田」『農村計画学会誌論文特集号』 31, 327~332.
- 木南章 (2009) 「水田農業の持続可能性と経営管理問題」『共済総合研究』 54, 6-18.
- 木村洋美・福山利範・阿部信行 (2007) 「衛星画像を用いた被災地水田のタンパク含有率の推定」『新潟大学災害復興科学センター年報』 1,143~147.
- 黒崎卓 (2001) 『開発のミクロ経済学—理論と応用』岩波書店, 256pp.
- 巖善平 (2008) 「中国経済はルイスの転換点を越えたか」『東亜』 30~42.
- 近藤巧・森岡裕幸・志賀永一 (2000) 「GIS による農地利用の分析: 北海道十勝畑作地帯の個別経営を対象として」『農業経営研究』 38(2), 55~58.
- 境谷栄二・井上吉雄 (2012) リモートセンシングによる玄米タンパク含有率の推定精度に影響する誤差要因」『日本作物学会紀事』 81(3), 317~331.
- 施錦芳 (2005) 「メコン地域開発と雲南省の経済発展」『専修大学社会科学研究所月報』 507,1~25.
- 鹿内健志・官森林・上野正実・南孝幸 (2007) 「サトウキビ生産法人に集積された圃場の分散が生産性に及ぼす影響 : 地理情報システムを用いた分析」『農作業研究』 42(1), 29~36.
- 島武男・吉迫宏・中達雄・小川茂男 (2007) 「水利システムの利水機能と多面的

- 機能の連携的評価法』『農村計画学会誌』 25, 509~514.
- 車志敏 (2004)「雲南省の「西部大開発」戦略」波平元辰 編『雲南の「西部大開発」』九州大学出版会,5~30.
- 下荒地勝治・佐藤洋平・橋本禪・吉沢幸男・堀勝也 (2000)「圃場整備事業において面的集積を促進させる要因の研究: 駒ヶ根市下平地区を事例として」『農村計画学会誌 論文特集号』 2, 169~174.
- 須崎純一 (2002)「リモートセンシング通論」『写真測量とリモートセンシング』 39(4), 31-33.
- 須崎純一・原慶太郎 (2002)「リモートセンシングと地理情報システム (GIS) の統合的利用の現状」『東京情報大学研究論集』 5(2), 19~26.
- 菅沼圭輔 (1995)「農産物流通の自由化と広域流通の展開—市場化の中で活躍する農民—」加藤弘之 編『中国の農村発展と市場化』世界思想社, 77~109.
- 宋敏 (2003)「家計請負経営責任化の農地流動化に関する一考察 —中国・四川省の事例から—」『九州大学農学芸誌』 58(1・2), 83~92.
- 孫潔 (2010)「雲南省における棚田とハニ族のエスニシティ」『東北アジア研究』 14,123~145.
- 孫潔 (2012)「中国雲南省元陽県棚田地域における観光開発と地元民の対応」『佛教大学文学部論集 文学部論集』 96, 51~70.
- 大悌俊泰・栗崎直子(1996)「効用概念に基づく土地利用遷移確率モデルの構築とその応用」『GIS 理論と応用』 4(2), 7-14.
- 大悌俊泰・倍田賢一・青木義次(1998)「メッシュデータを用いた土地利用遷移確率の推定方法」『総合都市研究』 65, 25~34.
- 宅間文夫・安藤明夫 (1999)「農家の行動を考慮した都市圏経済モデルによる農産物自由化の分析」『土木学会論文集』 632, 51-62.
- 竹田麻里・西原是良・中嶋康博 (2011)「農業水利の社会ネットワーク分析 GISを活用した数量的手法の提案」『農村計画学会誌 論文特集号』 30, 315~320.
- 田中修 (1967)『農業の均衡分析』有斐閣, 208pp.
- 田畑保 (1995)『零細分散錯圃の現状と問題点』総合研究開発機構 全国官報販売協同組合,190pp.
- Chayanov, A. V. (1923) Die Lehre von der bauerlichen Wirtschaft, (磯辺秀俊・杉野忠夫 共訳(1957)『小農経済の原理』, 大明堂, 390pp.)
- 鶴岡康夫 (2001)「生産管理行動を考慮した稲作の規模拡大及び収益性に対する圃場条件の影響」『農業経営研究』 39(1), 1~13.
- 手塚眞 (2006)「雲南省の農村開発: 自然資源, 少数民族, および NGOs」『東京経学会誌』 251, 125~144.

- 中兼和津次 (2002) 『中国農村経済と社会の変動—中国石林県のケーススタディ—』 御茶の水書房, 341pp.
- 中兼和津次 (2012) 『開発経済学と現代中国』 名古屋大学出版会, 304pp.
- 中山徳良 (2003) 「確率的費用フロンティアを用いた水道事業の効率性分析」『経済政策ジャーナル』 1(1),102~110.
- 中嶋康博 (2003) 「多面的機能論と貿易政策」『農村計画学会誌』 22(1),8~16.
- 中嶋康博 (2010) 「新たな生産調整プログラムの課題と展望」『農業経済研究』 82(2), 119-129.
- 中嶋千尋 (1983) 『農家主体均衡論』 富民協会,359pp.
- 中島峰広 (1999) 『日本の棚田—保全への取組み』. 古今書院, 240pp.
- 波平元辰 (2004) 『雲南の「西部大開発」—日中共同研究の視点から』. 九州大学出版会, 235pp.
- 西村和志 (2009) 「暖地コーンコントラクタの圃場分布状況と圃場集積効果の解明: GPS ロガーを用いたコーンハーベスタの挙動データの収集と移動効率指標の算出」『農業経済研究. 別冊, 日本農業経済学会論文集』 2009, 158~165.
- 西村和志・若林勝史・田口光弘 (2012) 「圃場分散が農作業圃場間移動に与える影響解析: 水田飼料作収穫作業を対象とした TSP による圃場間移動シミュレート」『農業経済研究. 別冊, 日本農業経済学会論文集』 2012, 100~105.
- 農林水産省 (2011)『リモートセンシング政策検討ワーキンググループ 第2回会合 議事次第 農林水産省提出資料』 農林水産省, 19pp.
- 農林水産省 農村振興局 (2010) 『農業・農村分野におけるGISの取組みについて』 農林水産省, 16pp.
- 農林水産省 農村振興局(2010) 『農業・農村情報整備 活用研究会 政府・農林水産省における地理情報システムの取組み』 農業・農村情報整備活用研究会, 24pp.
- 橋谷弘 (2013) 「雲南省の観光開発と少数民族文化」村上勝彦,松本光太郎 編『中国雲南省の開発と環境』 日本経済評論社,135~172.
- 畢世鴻 (2008) 「中国雲南省とラオス, ミャンマー, ベトナム 国境地域の経済活動」石田正美 編『メコン地域の開発研究—動き出す国境経済圏』 アジア経済研究所, 182~214.
- 深尾葉子 (2004) 「ゴムが変えた盆地世界—雲南・西双版纳の漢族移民とその周辺—」『東南アジア研究』 42(3), 294~327.
- 古川久雄 (1997) 「雲南民族生態誌: 生態論理と文明論理 (< 特集> 雲南およびその周辺)」 『東南アジア研究』 35(3), 346-421.

- 寶劔久俊 (2003) 「中国における食糧流通政策の変遷と農家経営への影響」 高根務 編『アフリカとアジアの農産物流通』アジア経済研究所, 27~85.
- 本間正義 (2010) 『現代日本農業の政策過程』慶應義塾大学出版会, pp.385
- 前田栄三 (2010) 「雲南の山地少数民族の村々を訪ねて 2008 年秋」『ヒマラヤ学誌』 11, 222~231.
- 丸川知雄 (2002) 『労働市場の地殻変動』名古屋大学出版会, 262pp.
- 南亮進 (1971) 『日本経済の転換点—労働の過剰から不足へ』 創文社, 241pp.
- 南亮進・馬欣欣 (2013) 「中国労働市場の変貌と転換点」南亮進, 牧野文夫, 郝仁平 編『中国経済の転換点』東洋経済新報社, 64~90.
- 村井俊治・越智士郎 (1989) 「リモートセンシングと地理情報システムの結合に関する研究—1—」『生産研究』 41(8), 669~672.
- 百瀬邦泰 (2003) 「雲南の棚田地帯を涵養する雲霧帯の土地利用の変遷と竜山の消長 (特集 水からみたアジア・アフリカ)」 『アジア・アフリカ地域研究』, 3, 87~102.
- 森邦恵 (2002) 環境アメニティ評価手法としてのヘドニックアプローチ. 北海道大学経済学研究, 52(1), 127-144.
- 森下裕之・宮崎猛 (2008) 「中国における棚田農業の保全と農家楽 —雲南省元陽県土戈寨村を事例として—」『農林業問題研究』 44(1), 256~261.
- 守田秀則・小林慎太郎・森下一男 (2003) 「香川県における宅地化の空間構造に関する研究」『農村計画学会誌』 22, 121~126.
- 八木洋憲・大呂興平・山下裕作・植山秀紀(2003) 「中山間地域における経済的用地分級のための基礎的係数の推計」『農業経済研究. 別冊, 日本農業経済学会論文集』 2003, 120~122.
- 八木洋憲・山下裕作・大呂興平・植山秀紀 (2004) 「中山間地域における圃場単位の期待所得土地分級—耕作放棄による外部不経済の影響を考慮して—」『農村計画学会誌』 23(2), 137~148.
- 八木洋憲・嶺田拓也・芦田敏文・栗田英治 (2005) 「水利系統を考慮した環境保全型水稲作の立地配置」『農村計画学会誌 論文特集号』 24, 67~72.
- 八木洋憲 (2006) 「線形計画法の実証的適用による農地利用計画: 中山間地域における耕作放棄による外部小経済評価を通じて」『農業経済研究』, 78(1), 12~21.
- 八木洋憲・八木宏典 (2006) 「農地の生産性の把握方法論の展開」『農村計画学会誌』 25(2), 120~131.
- 八木洋憲 (2011) 「土地利用型農業における精密農業の普及条件—農業用 GPS 機器市場と農業経営の対応の日米比較—」『農村計画学会誌』29, 215~220.
- 柳澤孝裕・中野芳輔・東奈穂子・真玉明子 (2002) 「数量化 III 類を用いた土

- 地分級評価と農地利用の方向性: GIS (地理情報システム) を活用した福岡県黒木町黒木・豊岡地区における検討」『農業土木学会論文集』70(3), 345~356.
- 山田七絵 (2006) 「中国—高付加価値化貿易戦略と広がる地域格差—」重富真一編『グローバル化と途上国農村市場の変化—統計的概観—』アジア経済研究所, 23~52.
- 山本昌弘・郭晋萍 (2011) 「中国雲南省農村における出稼ぎ構造—紅河ハニ族自治州の村落調査から—」『鯉淵研報』,26, 23~31.
- 吉田謙太郎・合田素行・木下順子 (1997) 「CVM による全国農林地の公益的機能評価」『農業総合研究』51(1), 1~57.
- 吉田謙太郎 (1999) 「CVM による中山間地域農業・農村の公益機能評価」『農業総合研究』55(1),45~87.
- 李潔 (2013) 「中国 GDP 統計をめぐる論争の再考」『社会科学論集』138, 55~70.
- 李明権 (2004) 「中国における農地流動化と農地配分の団地化-吉林省延辺朝鮮族自治州の実態分析を中心に」『アジア太平洋レビュー』1, 2~14.

参考ウェブサイト

- Briggs, R (2013)GIS Fundamentals
<http://www.utdallas.edu/~rbriggs/poec6381.html>.
 (accessed 2013-12-10).
- Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri) (2010)
<http://www.esri.com/> (accessed 2010-6-2).
- FAO (2010) Conserving Our World's Agricultural Heritage
<http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/11/GIAHSbooklet.pdf>,
 PDF, pp27, (accessed 2011-11-22).
- The Geospatial Communication Network (2013)
http://www.geospatialmedia.net/about_geospatial.htm
 (accessed 2013-12-6)
- GoogleEarth (2010) earth.google.co.jp/ (accessed 2010-8-27)
- NASA (2010)
 Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS)
<https://wist.echo.nasa.gov/~wist/api/imswelcome/>
 (accessed 2010-5-20).
- Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT) Image (2013)
<http://www.spot.com/> (accessed 2013-12-2).
- United States Geological Survey(USGS) (2010)

- Earth Resources Observation and Science Center (EROS)
<http://glovis.usgs.gov/> (accessed 2010-9-22).
- 国土交通省国土政策局(2013) 『国土数値情報ダウンロードサービス』
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/> (アクセス日 2013年9月6日).
- 一般財団法人資源・環境観測解析センター(2012) 『ASTER 全球3次元地形データ』 <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/> (アクセス日 2012年10月20日).
- 総務省統計局 (2013) 『統計データ』 <http://www.stat.go.jp/data/index.htm> (アクセス日 2013年9月5日).
- 日本スペースイメージング社. (2013) <http://www.spaceimaging.co.jp/> (アクセス日 2013年9月9日).
- 日本水土総合研究所(2013) 『日本水土 GIS』 <http://www.nngis.jp/login.php> (アクセス日 2013年9月6日).
- 農林水産省(2010) 『農林水産用語集』
http://www.maff.go.jp/yougo_syu/index.html. (アクセス日 2010年10月10日).
- 農林水産省 (2013) 『estat 政府統計の窓口 提供統計一覧』
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL02100104.do?tocd=00500209> (アクセス日 2013年9月6日).
- 農林水産省 (2013) 『estat 政府統計の窓口 農林業センサス』
http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020101.do?_toGL08020101_&tatCode=000001032920 (アクセス日 2014年9月10日).
- 一般財団法人リモート・センシング技術センター (2013) 『RESTEC 衛星総覧』
<http://www.restec.or.jp/> (accessed 2013年12月15日).
- 中国国家林業局 (2010) 『国家林業局』 <http://www.forestry.gov.cn/> (アクセス日 2010年11月21日).
- 中国政府全国人大法状況(2010) 『中国人民代表大会』 www.npc.gov.cn (アクセス日 2010年11月21日).

統計資料

- China Data Center(2010) <http://chinadatacenter.org> (accessed 2010-5-16).
- FAO (2001) Supplement to the Report on the 1990 World Census of Agriculture *Statistical Development Series No. 9a*, pp.107
- FAO stat(2011) <http://faostat.fao.org/> (accessed 2014-6-23).
- 雲南省金平苗族瑶族傣族自治州誌編纂委員会 (1994) 『金平苗族瑶族傣族自治州誌』 雲南人民出版社.

- 雲南省元陽県誌編纂委員会（1991）『元陽県誌』 貴州民族出版社.
- 雲南省紅河県誌編纂委員会（1991）『紅河県誌』 雲南人民出版社.
- 雲南省統計局（2001）『雲南省統計年鑑 2001』 中国統計出版社.
- 雲南省統計局（2011）『雲南省統計年鑑 2011』 中国統計出版社.
- 雲南省緑春県誌編纂委員会（1992）『緑春県誌』 雲南人民出版社.
- 紅河哈尼族彝族自治州概況編纂委員会(1986) 『紅河哈尼族彝族自治州概況』 雲南民族出版社.
- 中国開発計画委員会（2001）『全国農産品費用収益資料』 中国統計出版社.
- 中国国家統計局（2012）『中国統計年鑑 2012 年版』
<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2010/indexch.htm>（アクセス日 2013 年 9 月 5 日）.
- 中国社会科学院(2007) <http://cass.cssn.cn/> （アクセス日 2012 年 11 月 5 日）
- 中国社会科学院(2010) <http://cass.cssn.cn/> （アクセス日 2010 年 12 月 28 日）