

2006 年度 修 士 論 文

リン資源の適正管理に向けた市町村レベルでの Material Flow Analysis

Material flow analysis on local municipalities
for phosphorous resource management

都 築 淳

Tsuzuki, Atsushi

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学研究系 社会文化環境専攻

目次

第 1 章	研究背景と目的	1
1.1	研究背景	3
1.2	研究の目的	4
1.3	本論文の構成	5
第 2 章	リン資源と MFA に関する既存の研究	5
2.1	リン資源有効利用の必要性	5
	2.1.1 国際的リン資源の状況	5
	2.1.2 日本国内のリン資源の現状	6
2.2	農業とリン資源	7
	2.2.1 土壌中のリン	7
	2.2.2 植物とリン	7
	2.2.3 必要とされる肥料	8
2.3	有機物リサイクルへの取り組みと栄養塩類管理	8
	2.3.1 バイオマスニッポン総合戦略	8
	2.3.2 物質循環システムのための栄養塩類フロー解析	8
2.4	都市の持続可能性評価手法としての栄養塩類循環	9
	2.4.1 都市の持続可能性評価手法としてのマテリアルフロー分析	9
	2.4.2 都市における栄養塩類循環に関するこれまでの研究	10
第 3 章	ケーススタディの選定と調査手法	11
3.1	ケーススタディ対象地域の選定	11
3.1	Material Flow Analysis (MFA) の手法	13
	3.2.1 課題の設定と MFA の目的	13
	3.2.2 対象物質の選定	13
	3.2.3 システムの空間的・時間的なバウンダリーの決定	14
	3.2.4 システム内のプロセス・フロー・ストックの定義	14
	3.2.5 物質のフローをストック量の算出	15
	3.2.6 結果の表示	15

第4章	Case Study I ～茨城県坂東市～	16
4.1	対象地域の選定	16
4.2	対象地域の概要	16
	4.2.1 地理と人口	17
	4.2.2 産業と地域経済	17
	4.2.3 廃棄物管理	18
	4.2.4 茨城農業改革と県西地域農業の改革プラン	19
4.3	リンフローの解析	20
	4.3.1 システムの構成プロセス	20
	4.3.2 プロセス間の各種フローと移動量の決定	20
	4.3.3 MFAの結果	26
4.4	対象地域の特徴とリン資源管理のポイント	28
	4.4.1 畜産業内部における循環利用と排出負荷量	28
	4.4.2 近隣地域との連携可能性	29
4.5	まとめ	30
第5章	Case Study II ～千葉県柏市～	31
5.1	対象地域の選定	31
5.2	対象地域の概要	31
	5.2.1 地理と人口	32
	5.2.2 産業と地域経済	32
	5.2.3 廃棄物管理	33
	5.2.4 手賀沼の汚染とその対策	34
5.3	リンフローの解析	36
	5.3.1 システムの構成プロセス	36
	5.3.2 プロセス間の各種フローと移動量の決定	37
	5.3.3 MFAの結果	42
5.4	対象地域の特徴とリン資源管理のポイント	44
	5.4.1 消費地的性格と排出経路	44
	5.4.2 下水道に含まれるリン資源の有効活用	44
	5.4.3 水環境の保全とMFA	46
5.5	まとめ	47

第 6 章	Case StudyⅢ ～神奈川県三浦市～	48
6.1	対象地域の選定	48
6.2	対象地域の概要	48
	6.2.1 地理と人口	48
	6.2.2 産業と地域経済	49
	6.2.3 廃棄物管理	50
	6.2.4 環境保全型農業への取り組み	51
	6.2.5 バイオマスタウン構想	51
6.3	リンフローの解析	54
	6.3.1 システムの構成プロセス	54
	6.3.2 プロセス間の各種フローと移動量の決定	55
	6.3.3 MFA の結果	58
6.4	バイオマスタウン構想のリンフローへの影響評価	60
6.5	まとめ	60
第 7 章	リン循環の地域特性と資源管理の戦略	61
7.1	リンフローの地域特性の分析	61
	7.1.1 地域のリンフローバランス	61
	7.1.2 各種資源の利用可能性	64
7.2	社会の変動とリンフローに及ぼす影響	66
	7.2.1 肥料需要のあり方	66
	7.2.2 肥料供給のあり方	68
7.3	地域特性の類型化と管理への課題	69
7.4	リン資源の適正管理に向けた MFA	70
第 8 章	まとめ	71
	謝辞	73
	参考文献	74

第1章 研究背景と目的

1.1 研究背景

「リン」は全ての生物に必須の物質であり、肥料として農業に用いられるなど、様々な形で私たちの生活と密接に関連している。リンと食糧生産との結びつきは特に重要であり、世界の人口は、リン・窒素等の化学肥料と農薬を用いることによって、飛躍的に生産性を高めた農業によって支えられている。

しかし近年、このリン肥料の源である「リン鉱石」が世界的な枯渇の危機にあると指摘されている。このような状況でリン資源をいかに確保し有効・循環活用するかが世界的に重要な戦略・研究課題として認識されつつある。

日本国内にはリン鉱石の鉱山は存在せず、リン鉱石は100%輸入に頼っている。その一方で、リンを多量に含む下水汚泥や畜産廃棄物が様々な理由から農地に還元されていなかったり、下水や畜産廃棄物由来のリン・窒素が内湾などの閉鎖性水域の富栄養化など自然・生活環境への悪影響を引き起こしている。こうした状況は国内のリン資源が適正管理されないまま偏った分布状況になっていることを示している。

リン肥料の消費という点では、日本の農業は消費者・生産者の食品の安全に対する意識の高まりなどを背景とし、二つの大きな方向性に動き出しているといえる。ひとつは有機栽培等の減農薬・減肥料の考えを中心とした、自然の能力を最大限に活用しようとする農業。また、一方で栄養・温度などを施設で完全に管理した植物工場が市場での価格競争能力を持つまでになるなど、施設型の農業も一つの完成形に達しつつある。

棄物管理分野でも、循環型社会形成の機運の中で、リンフローに大きく影響を及ぼすと考えられる動きが起こっている。まず、バイオマスニッポン総合戦略という有機性廃棄物の利活用推進政策。この施策はエネルギー政策の要ではあるが、この施策によって変化する有機物性廃棄物中の栄養塩類のフローを見過ごすことは出来ない。また、家畜排泄物処理法の施行によって、畜産廃棄物の管理体制は大きく変化した。そしてリンの主な流出源の一つである下水道分野では、富栄養化の防止と希少資源回収を目指して、下水からのリンの化学的な回収技術が確立されつつある。

こうした状況を踏まえた上で、日本国内でもリン資源の循環利用に向けて、資源を把握し、農業や畜産業、廃棄物管理といったそれぞれの分野での取り組みをうまく連携させていくための戦略が必要となってくると考えられる。国内のリン資源の把握を目的とした研究としては、水谷による日本国内のリン・窒素フロー分析(1997、1998、2003)、などいくつかの文献がある。

しかし、リンの有効利用を考える際に重要なことは、未利用のリン資源の大半が有機性廃棄物中(下水汚泥、畜産廃棄物等)に含まれている(水谷:1998)ことから、その回収や移動には様々な制限があるということ(荒巻:2001)である。それは、現行の廃棄物処理体制の問題でもあるが、有機性廃棄物のような価値に対して重量・かさの大きいものは経済的にも移動が難しいといえる。また、有機性廃棄物の種類や農業・畜産業の規模・形態には地域性があると考えられ、実際の取り組みでは地域ごとの資源と産業の形態に応じた対策が取られるべきであると考えられる。その際には畜産業や農業といった分野間での理解と連携が非常に重要となる。そのため、各主体の連携の中心となれる立場であり、廃棄物の管理者でもある市町村レベルでの有効利用を考えることが重要であると考えられる。

しかし、国家レベルでの栄養塩類フローに関する研究や、特定の流域や農場に関する研究はあるものの、市町村レベルでの栄養塩類フローに関する研究はそれほど多くない。有機性廃棄物などを扱う場合、先にも述べたとおり、資源の地域性に配慮した取り組みと地域の連携が必要であり、国全体での議論と、地域別の議論を分けて考える必要がある。

これらのことから市町村レベルでの地域ごとのリンのマテリアルフロー分析に関するケーススタディを行っていき、データ収集の方法や評価手法についての議論を深め、リン資源の有効利用戦略を構築していく必要があると考えられる。

そこで、本研究においては市町村レベルでのリンのマテリアルフロー分析を、いくつかの市町村を対象として行い、その結果から、地域ごとのリンフローの特徴の切り出し、地域のフローの特徴に合わせたリン資源の適正管理のための枠組みを提案するとともに、リンのマテリアルフロー分析の手法を汎用化することを目標とし研究を行うこととした。

1.2 研究の目的

「1.1 研究の背景」より、本研究では市町村レベルでのリンフローの把握と、地域の現状に対応したリン資源適正管理のための枠組みを提案することを研究の目的とした。

調査の対象地域としては、バイオマス利活用に取り組む地域、畜産業が盛んな地域、都市型で下水道へのリン排出量が多い地域、をそれぞれ対象地とし、**Material Flow Analysis(MFA)**と呼ばれる手法を用いて、それぞれの地域におけるリンフローの定量化を行った。そして、それぞれの地域においてポイントとなる論点を整理し改善案の提案を行った。

最後に、リンフローに影響を与える要因を整理し、産業構造等からの地域の類型化を試みるとともに、「1.1 研究の背景」で述べた様々な動向が地域のリンフローに与える影響を評価し、類型化した地域ごとのリンの循環利用戦略を構築・提案することとした。

本研究を行うことによって、リンという単一の物質を循環させるというだけでなく、それに向けて農業・畜産・廃棄物・下水道といった分野間の取り組みを推進することで、栄養塩類の分布の偏りを解消して自然環境を保全し、安全かつ安定的な食糧生産体制の確立という社会全体の目標への礎としたい。

1.3 本論文の構成

先述したとおり、本論文の目的は MFA と呼ばれる手法を用いて、市町村レベルでのリンフローの実態を調査し、その結果から調査手法を整理するとともに、対象地域のリンフローにおける重要な特徴を切り出して地域の特徴に応じた管理・循環利用戦略を構築できるようにすることである。

図1. 3-1 に示すように、本論文は大きく分けて四つの部分から構成される。

第3章において、リンフローに影響が大きいと考えられる特徴を持つ調査対象地域の選定と、MFA の手法についての整理を行った。そして、第4～6章では MFA の手法を用いて実際の調査を行った調査結果を示し、それぞれの地域における取り組みの評価・改善案の提案を行った。第7章の前半では調査から得られたノウハウ・数値をまとめるとともに、リン循環の地域特性の切り取り方を提案し、社会の変動がリンフローに与える影響の評価を行った。第7章の後半では前半でまとめた方法と社会変動の評価を用いながら、三つの MFA の結果を考察し、地域の特徴に応じた循環利用戦略の提案を行った。

なお、第2章において、研究背景や他の MFA に関する研究のレビューを行った。

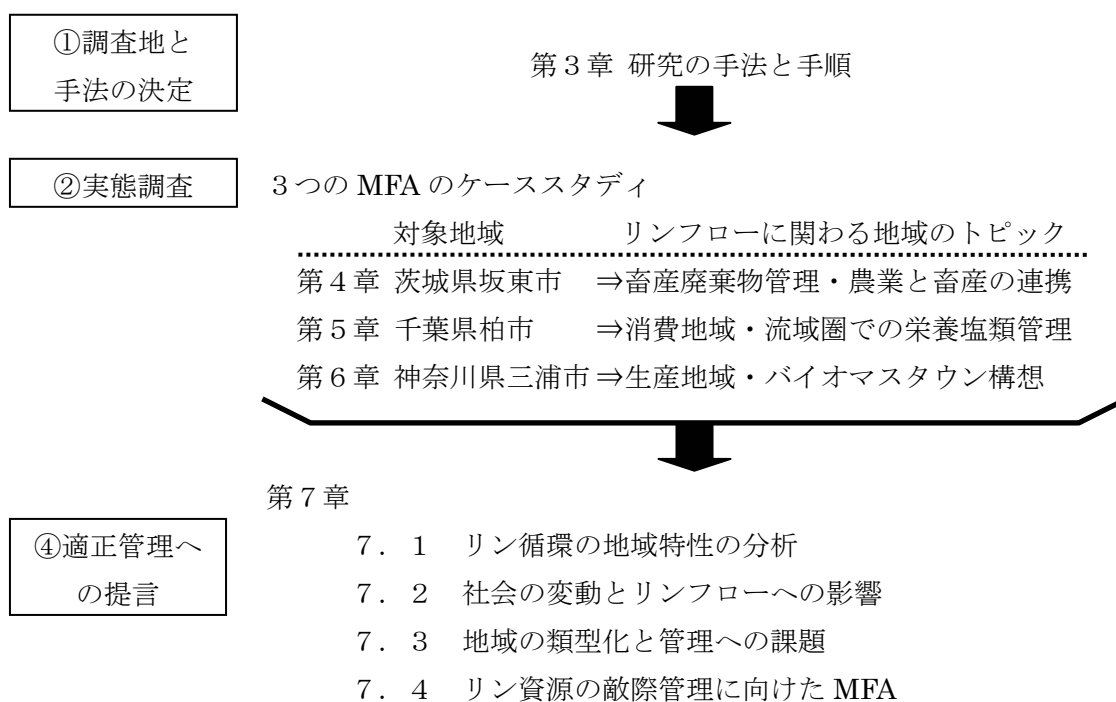


図1. 3-1 本論文の構成

第2章 リン資源と MFA に関する既存の研究

2.1 リン資源有効利用の必要性

2.1.1 国際的リン資源の状況

リンを含む鉱石自体は地球全体に存在しているが、高品質のリン鉱石の分布状況には非常に偏りがあり、モロッコを中心としたアフリカ大陸北部、アメリカ合衆国、南アフリカ共和国、ロシア、中国などに分布している。具体的には世界の12カ国で生産量の95%が産出されており、そのうちアメリカ、モロッコ、中国で66%を産出している(Smil, 2000)。

化学肥料の導入による農業の近代化と、それに伴う伝統的な栄養塩類の循環利用法の衰退、さらには人口増加による食料生産増大への要求も重なり、リン鉱石の需要は急激に増加し続けてきた。無機リン肥料の消費に関して、発展途上国と先進国の動向は対照的で、途上国がこの25年間で5倍以上消費量を増やしているのに対して、先進国では50%以上も削減された。先進国ではこれまでの過剰な投入の結果、土壌は飽和に近い状態になっており、今後、投入量が急激に増加することは考えにくい。しかし、途上国では依然として土壌中のリンが不足している状態にあり、仮に先進国と同様の動きを示すと、それだけでかなりの需要が見込まれる(Steen,1998)。

これまでの利用の結果、経済的に利用可能な質の高いリン鉱石は徐々に貴重になりその枯渇が危ぶまれており、今後50年間に経済的に利用可能なリン鉱石の半分が消費されるとしている。また、その他の問題として、リン鉱石は不純物としてカドニウムや砒素などといった有害な重金属とともに掘り出されるケースも多く、質の低いリン鉱石が増えることによって発掘コストに加えこうした有害物質の処理に関するコストがかさむことが懸念される(Steen,1998)。

このような背景からリン鉱石を石油などと同様に国際的な戦略物質として捉えなければならぬような状況が作られつつあるといえ、アメリカは価格の吊り上げによって、事実上の輸出禁止措置をとっている。

2.1.2 日本国内のリン資源の状況

日本は化学肥料原料としてのリン鉱石を全量輸入に頼っている。主な輸入国は中国、南アフリカ、モロッコ、ヨルダンである(財務省貿易統計より)。しかし、1990年代後半にアメリカ合衆国がリン鉱石の輸出を全面的に停止したことを受けて、国内に存在しているリン資源をの有効活用への機運が高まっている。日本は当時リン鉱石の約半分をアメリカからの輸入に頼っていたが、輸出禁止措置によってその後10年足らずの間に輸入量の大幅な削減と輸入国の変更を余儀なくされた。このように国際的戦略物質としての性格をリン鉱石が持ち始めた結果、国内資源の有効利用に関する議論が加速したと考えられる。

他方で、閉鎖性水域等の富栄養化の問題を受け、下水からのリン・窒素の除去の必要性は周知されていることである。また、リンを多量を含む下水汚泥の処理に各地方自治体が苦慮していること、有機性廃棄物の有効利用が国家レベルの戦略(バイオマスニッポン総合戦略)として持ち上げられていることなども、国内のリンの有効活用の必要性の後押しになっていると考えられる。

国内のリン資源の把握を目的とした研究としては、水谷による日本国内のリン・窒素フロー分析(1997、1998、2003)、などいくつかの文献がある。これらの論文によれば、日本国内のリンのフローでは最終的なストック・流出先として、土壤固定量が最も多く、次いで水域への流出、廃棄物と続く。輸入による国内へのインプットと最終的なストック・流出量との比で見たとき、土壤固定量は75%、水域への排出が13%、廃棄物が5%となっている(三品・新保 2003)。このうち、土壤固定に関しては、農業サイドでの研究が進んではいるものの、有効な回収技術の提案には至っていないというのが現状である。これに対し、下水道を通過する量は輸入量に対し10%程度見込まれており、また、富栄養化防止の観点から社会的な後押しもあって、いくつかの回収技術が実用段階になりつつある。

リンの有効利用を考える際に重要なことは、未利用のリン資源の大半が有機性廃棄物中に含まれている(水谷,1998)ことから、その回収や移動には様々な制限がかかるということである(荒巻,2001)。それは、現行の処理体制の問題でもあるが、有機性廃棄物のような価値に対して重量が大きいものは経済的にも移動が難しいといえる。そのため、県や市町村レベルといった限られた行政区分での有効利用を考えることが重要であると考えられる。しかし、リンに関して地域固有の資源の把握などを目的にした研究はほとんど行われていない。有機性廃棄物などに関しては、地域の固有性が強く反映されていると考えられ、実際の取り組みとしては地域ごとの資源に対応した対策が取られるべきであると考えられる。

2.2 農業とリン資源

2.2.1 土壌中のリン

日本における農業で、施肥リン量に対するリン利用率は高いところで10~15%、低いところでは3~5%と、窒素(約80%)やカリウム(約60%)といった他の栄養塩類と比較すると非常に低い。このような利用率しか達成できない背景には日本の農耕地における土壌が大きく関連している。

日本の畑地の約50%は黒ボク土と呼ばれる火山灰土壌である。この黒ボク土には、アロフェンと呼ばれる非結晶質粘土鉱物が多く含まれる。アロフェンはその表面に多くの $[Al-OH_2^+]$ 基が露出していることが知られている。リン酸イオンはアロフェンや鉄酸化物イオンのOH基と配位子交換反応をし、アルミ、鉄と強固に結合する。こうしたリン酸はほとんど水にも溶けず、結果植物にもほとんど利用されずに土壌に蓄積していく(大伏,2003)。これが現在考えられているリン酸の土壌固定の主なメカニズムであるといえる。

土壌中には大きく分けて無機態としてAl、Ca、Feと結合したリン酸と、有機態のリン酸が存在する。有機態のリン酸は一部の易分解のものを除くとほとんどが植物には利用されない(植物栄養・土壌・肥料大辞典)。無機態のリン酸のうちCa型のもは比較的水にも溶けやすく、植物にも利用されるが、Al、Fe型については溶解しづらく一部の植物が利用できるに過ぎない。また、無機リン酸の形態は土壌中では徐々にAl型に収斂してゆくということが分かっている(平田,2004)。なお土壌pHによって土壌中のリンの形態は影響を受けるといことが知られており、酸性土壌中だとAl、Feとの強固な結合態となる割合が高まるとされている。また、実際の農地は一部を除いてほとんどの場合酸性土壌であるとされている。こうした背景からリンの利用効率の向上に関連する研究が多数行われているものの、現在に至るまで有効な減リン施肥技術の確立にはいたっていない。

2.2.2 植物とリン

植物のリン酸吸能は単位根長当たりのリン吸収能力と根長の積で表される。そのため、根の表面積を増加させる根毛の役割がリン吸収能力に大きく関係する。しかし、総じて作物の育成期間が長く、根が発達してからの期間が長い作物の方が、低リン土壌における栽培(有効態のリン酸が少ない土壌)における栽培に有利であるといえる(植物栄養・土壌・肥料大辞典)。植物のリン酸の吸収方法としては植物自身が根圏に分泌する各種の有機酸と酸性フォスファターゼによって吸収する場合と、菌根菌と呼ばれる糸状菌から供給される場合に分けられる。

2.2.3 必要とされる肥料

リン酸肥料に限らず、農業サイドでは土壌改良などの観点から有機資材の運用が積極的に進められている。しかし、その一方で、栄養塩類のすべてを有機肥料だけでまかなうことは出来ない。有機肥料の投入は土壌の pH を急激に変動させるといった様々な変化を伴う場合があるため、基本的に栽培中には投入できないことから、追肥に関してはすべて化学肥料でまかなうこととなる。基肥に関しても有機肥料でまかなえるのは半分までで、残りの半分以上は化学肥料を入れた方がよいという有機資材運用指針が定められている(これは各県の農業試験場が発表しているもので県によって多少その内容は異なる)。施肥の方法や時期などは化学肥料の種類によっても異なるため、それぞれの成分にあわせた需要パターンと供給パターンから最適な循環利用方法を提案する必要がある。リンに関して言えば、リンは基肥の投入のみで十分とされている。

2.3 有機物リサイクルへの取り組みと栄養塩類管理

2.3.1 バイオマスニッポン総合戦略

国家レベルでの有機性廃棄物有効利用戦略である「バイオマスニッポン総合戦略」を受ける形で、現在様々な地域でバイオマスの有効活用が進められている。またそれに加え、埋め立て処分場の残存容量の減少の問題などから下水汚泥や畜産廃棄物の有効利用に対しても積極的に取り組もうとする自治体も現れてきている。こうした取り組みの多くはエネルギー利用が中心であるため、それらの取り組みが地域の栄養塩類フローに与える影響を定量的に評価した研究は少ない。しかし、有機性廃棄物の有効利用は地域の栄養塩類に与える影響も大きいと考えられ、こうした視点からの評価が必要であると考えられる。

2.3.2 物質循環システムのための栄養塩類フロー解析

物質循環システムを目標として、窒素に関してそのフローを解析した研究はいくつか存在する。松本(2000)は市町村レベルでの窒素フロー解析モデルを構築し、食料や飼料として域外から窒素が持ち込まれた場合、堆厩肥や農業生産物として地域外に持ち出すことによって、環境中への流出などを防ぐことが出来ることを示した。

また、竹中ら(2002)は松本が構築したモデルを用いて、北海道の大規模畑作と酪農が混在する地域において、窒素循環モデルを構築し、物質循環上の問題点を明らかにした。この研究からは、畜産農家と大規模畑作農家が連携する有畜複合農業モデルにすることによって、環境への負荷が削減されることが示されている。

荒巻ら(2001)はコンポスト製品の需給バランスを窒素の供給量から解析した。この中で、窒素含量で考えた場合には、畜ふん系のコンポストが優先的に利用された場合、下水汚泥コンポストは一部の地域を除いてほとんど利用されないという結果が示されている。

リンに関しては、農家レベルでのリン循環に関する研究がなされている(田端ら,2005)。肉牛肥育と水稲複合生産システムにおけるリンの利用状況を定量化した研究で、農家に投入されたリンのうち18%が生産物として産出されることなどが示されている。

しかし、リンに関して市町村レベルなどでそのフローの解析を行った研究は行われていない。また、近年畜産農家の大規模化が進んでおり、竹内らが行ったような大規模畑作との連携が取れない地域においては、さらに有効利用の枠組みを広げて考える必要があると考えられる。

2.4 都市の持続可能性評価手法としての栄養塩類循環

2.4.1 都市の持続可能性評価手法としてのマテリアルフロー分析

持続可能性“Sustainability”という言葉は多くの要素を含む言葉だが、1987年の「World Commission on Environment and Development」の中で、“将来世代の要求の実現可能性を損なうことなく現代世代の要求を満たすこと”、と定義されている。

これからの世界の持続可能性を考えるときに都市自体の持続可能性を議論することが重要となってくる。なぜなら都市は世界人口の多くを抱えており、その数はこれからも増え続けるからである。都市の持続可能性を評価する手法としては **sustainable indicator**、**ecological footprint** などがその代表例として挙げられ(Bossel,1999)、様々な方面からの取り組みが行われている。こういった取り組みの一環として栄養塩類のマテリアルフローを分析し、その流出入のバランスを持続可能性の指標の一つとして利用しようという試みがある。そうした試みは産業や都市といった人間活動の集積の場をある種の有機体として捉え、その状態を様々な物質のマテリアルフローの側面から評価することで、その都市の持続可能性の改善に役立てることが出来るのではないかという考えに基づいて行われている(Graedel,1995)。

2.4.2 都市における栄養塩類循環に関するこれまでの研究

都市における MFA の研究は古くは 1977 年に Newcombe,K によって行われた香港に関する研究がある。この研究の中ではでにメタン発酵技術の利用可能性やリン資源の有効利用の必要性、また、肉類摂取量の増加による一人当たりの農耕地面積の増大への懸念が示されている。

近年の研究では中国の流域に対してリンのマテリアルフローの解析を行い、リン資源の管理のあり方を検討した研究(Liu ら,2004)がある。また、ベトナムの都市に対して、入手できるデータが限られた中でいかにして MFA を行うかという研究も行われている。

MFA に関しては、この他にも、中国やフィンランドといった国レベルでの解析が行われている。

しかし、主に都市を対象とした研究は水域への排出負荷削減を目的とした研究が多く、資源循環の枠組みをどう捕らえるかといった議論はこれまであまりなされていない。

第3章 ケーススタディの選定と調査手法

3.1 ケーススタディ対象地の選定

本研究では、特にリン資源の管理上重要であると考えられる3つの地域についてMFAを行なった。リン資源の適正管理を考える上での前提条件として、循環利用する際には農業分野において利用可能であることと、水環境への排出負荷は極力削減しなければならないとことがある。これらは比較的どの地域に関しても共通して言えることである。特に地域特性を踏まえた上でのリン資源管理という面から考えると、重要なポイントは大きく分けて、①畜産廃棄物に含まれる資源の管理、②都市型地域から生活雑排水・下水として排出される資源の管理、③畜産廃棄物や下水汚泥を含む有機性廃棄物の有効利用がそのフローに与える影響、の三点であると考えられる。そこで、このような地域の性格をもった市町村を統計情報などから絞り込んで調査対象地域とした。

- ・ 畜産廃棄物に含まれる資源の管理

絞り込み条件:

- ①茨城県・千葉県の市町村を対象に農業産出額の品目の上位に畜産関連の品目(豚、鶏卵、生乳、牛など)が入る自治体
- ②就業人口に占める農業就業人口率が10%以上
- ③農業産出額に占める畜産業の割合が25%以上

絞り込み結果:

茨城県小美玉市、茨城県石岡市、茨城県板東市、茨城県鉾田市、千葉県香取市

この結果から、従来からの畜産廃棄物の堆肥化に取り組んでいたことや、アクセスのしやすさなども考慮に入れて、茨城県坂東市を調査対象地域とした。坂東市についての詳細は第四章に記した。

- ・ 下水から排出される資源の管理

絞り込み条件：

- ①千葉県での人口上位 10 都市
- ②下水道普及率 80%以上

絞り込み結果：

千葉市、柏市

この結果からアクセスのしやすさなどを考慮に入れて、千葉県柏市を調査対象地域とした。柏市については第五章で記した。

- ・ 有機性廃棄物の有効利用が地域のリンフローに与える影響の評価

絞り込み条件：

- ①東京・千葉・神奈川で、バイオマスニッポン総合戦略の「バイオマスタウン構想」への参加市町村

絞り込み結果：

東京都あきる野市、千葉県白井市、千葉県旧山武町(現山武市)、神奈川県三浦市

このうち、下水汚泥や浄化槽汚泥などリンフローと関連が深い有機性廃棄物の有効利用に取り組もうとしており、従来から環境保全型の農業に取り組んでいることで知られている神奈川県三浦市を調査対象とした。三浦市については第六章で記した。

3.2 Material Flow Analysis (MFA)の手法

MFA の手法は Brunner らによる「Practical Handbook of MATERIAL FLOW ANALYSIS(2004)」を参考にした。後に示す3つのケーススタディにおけるMFAは、これから示すいくつかの段階を踏んで行った。一般的に、MFAを行う最初のステップは、問題とそれに対する適切な目標の設定から始まる。そして、その目標に対して関連のある物質と適切なシステムの範囲(システムバウンダリー)、プロセス、製品・廃棄物を決定する。次に、関連する製品・廃棄物の総量の動きと、対象物質の濃度を決定する。そして、対象物質の移動量とストック量が算出され、最終的な物質フローが決定される。

3.2.1 課題の設定とMFAの目的

これまでに述べてきたように、リン資源の管理・循環利用に関する議論では、牧場や農場レベルの小さな範囲での議論や、逆に全国規模での議論はあるものの、資源の地域性などに配慮した議論はなされておらず、個別地域での取り組みにつながるような分析がなされていないのが現状である。

そこで今回の研究ではMFAを行う目的を大きく分けて二つ設定した。一つは、リン資源の適正管理に向けて、廃棄物などの管理者である市町村レベルでの資源の把握を行い資源の地域性を明らかにすること。もう一つは資源を適正に管理するためには、どのような規模でシステムの枠組みを作るべきなのかという、システムのバウンダリーの枠組みのとり方を提案することである。

3.2.2 対象物質の選定

対象物質はリンのみとした。

栄養塩類の適正管理を言う点では、リンと同様に窒素やカリウムに関してもこうした分析が必要であると考えられる。しかし、窒素に関する研究はある程度進んでいること、資源の適正管理という面ではリンの重要度が非常に高いと考えられること、対象物質を増やすと調査・結果が煩雑になることなどから、リンのみを対象とした。

3.2.3 システムの空間的・時間的なバウンダリーの定義

空間的なバウンダリーは「市町村」とし、時間的なバウンダリーは一年毎と設定した。

一般的に、空間的なバウンダリーは物質の移動に関連するプロセスを含んだ範囲で、極力小さく境界がはっきりした範囲を取るとよいとされている。このため、情報の得やすさ、利用しやすさから、行政区分や河川流域によって定義することが現実的である場合が多い。

リンの適正管理を考える上で、水域への流出を考える場合には流域が適切であると考えられるし、農村的な地域ではコミュニティのレベルなども考えられる。しかし、下水道など消費プロセスからの排出を適正に管理するため、それらの管理者である行政を対象とすることは重要であると考えた。また、枠組みのあり方を提案することも今回の MFA の目的に含まれているが、有機性廃棄物の有効利用を考える際に、「都道府県」では廃棄物の移動などを考えれば広すぎ、コミュニティの単位では局所的すぎると考え、自治体の最小単位である市町村においてデータを積み上げ、その上で資源管理の方策を考えることが重要なのではないかと考えた。

時間的なバウンダリーの定義は、長期間に平均的にどの程度の量が移動しているのか調べよう場合には、関連する活動の時間的な変動を平均化できるくらいの長さに時間的なバウンダリーを設定すればよいとされる。そのため、人間活動を対象とする場合には1年間という単位が使われることが多い。今回の MFA でも、農業のサイクルを考えた場合、一年間で区切ることが適切であると考え、一年間を時間的なバウンダリーの区切りとした。

3.2.4 システム内のプロセス・フロー・ストックの定義

空間的・時間的なバウンダリーが決定した後、対象となるシステム内のプロセス、およびシステムへの製品・廃棄物の移動量の推定を行った。

システムの分析に必要なプロセスの数は、対象とするシステムによって異なる。また、それぞれのプロセスはさらにサブプロセスに分解することが可能であるし、逆に統合することも可能である。今回の分析では、分析の煩雑さと精度という点から、各地域に対して10程度のプロセスに設定した。

プロセスを設定した後、各プロセスに関して、どのような製品・廃棄物の移動があるのかを明らかにし、システム間の製品・廃棄物の移動を把握した。

3.2.5 物質のフローとストック量の算出

物質の移動量を X とすると、この量は製品・廃棄物の移動量 m に、製品・廃棄物中の対象物質濃度 c をかけることで求めることができる。

$$X_{ij} = m_i \cdot c_{ij}$$

このとき

i =製品・廃棄物の種類

j =対象となる物質の濃度・含有量

こうした製品・廃棄物の移動量に関する情報の多くは、国や地方自治体などの機関が提供する資料などから入手した。また原単位の多くは文献や論文から数値を引用した。

物質の移動量を計算した後、システム全体と各プロセスについて物質収支が一致することを確認する。これが一致しない場合には、①フローを見落としている、②原単位の設定が適切でない、という理由が考えられる。このようなギャップが生じた場合には原単位の確認・微調整を行い、ストックが考えられる場合には投入量と搬出量の差をストックとした(図3.3-1)。

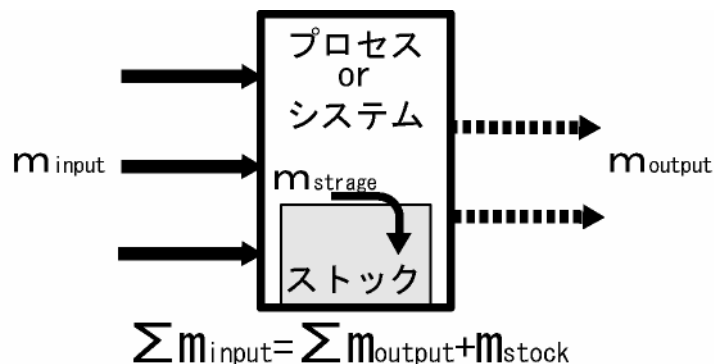


図3.3-1 システムとプロセスの概念図

3.2.6 結果の表示

MFAの結果は物質の動きを的確に表現しながら、その結果から何が言えるのかを端的にあらわすものでなくてはならない。特にシステム間の結びつきとどこで何が利用されて排出されているのかを明確にする必要がある。

今回の結果でも、通過する物質の量に対応して、プロセスの表示を大きくする、矢印の太さを変えるとといった視覚的な効果を意識しながら作成した。

第4章 Case Study I ～茨城県坂東市～

4.1 対象地域の選定

全国規模でのリンフローにおいて、農耕地への肥料投入、家庭等での消費プロセスと並んで、重要度が高いと考えられているのが畜産業に関連したフローである。特に家畜排泄物の管理と利用に関しては、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律(家畜排泄物法)」が施行され、その適正管理が義務付けられた一方で、堆肥原料として農業サイドからの需要が多いことも知られており、リン肥料の需要と供給のバランスを考える上での重要な要素であるといえる。

このような背景から、農林水産業の産出額に占める畜産業の割合が高い地域を対象として、リンフローの解析を行い、畜産業関連のフローの現状と適正管理のあり方について検討する必要があると考え、農業産出額の27.5%を畜産業が占める、茨城県坂東市を調査対象地とした。

4.2 地域の概要(表4.2-1)

表4.2-1 坂東市の概要

1)人口・産業構造など											
地域面積(ha)	総人口(人)	一次産業(人)	二次産業(人)	三次産業(人)							
12,318	58,673	4,517	13,654	13,705							
農家数(戸)											
専業農家(戸)	第1種兼業(戸)	第2種兼業(戸)	自給的農家(戸)								
4,209	453	794	2,217	745							

2)作物別作付け面積と収穫量										
	水稲	レタス	ねぎ	はくさい	キャベツ	青刈りとうもろこし	スイートコーン	ほうれん草	牧草	六疊大麦
作付け面積	2,269	1,416	549	235	169	124	113	106	91	82
収穫量(t)	11,940	26,602	16,580	14,094	7,529	7,200	1,087	1,339	4,332	235

3)畜産農家戸数と飼養頭数					
	乳牛	肉牛	豚	採卵鶏	ブロイラー
戸	18	4	21	18	1
頭(羽)	896	215	28,907	1,494	x

4.2.1 地理と人口

・ 地理

坂東市は、平成 17 年 3 月 22 日に岩井市と猿島町が合併して誕生した。茨城県の南西部に位置し、総面積は 123.18 k m² で、区域は東西約 12 k m、南北約 20 k m である。首都圏 50 k m 圏に位置し、全域が首都圏近郊整備地帯に指定されている。年平均 15℃、年間降雨量 1,293mm で、比較的温暖な気候に恵まれており、中心部の猿島台地と呼ばれる平坦な台地には田・畑地が広がる。また、多くの平地林や白鳥が飛来する菅生沼など、良好な自然が残されている。

・ 人口

人口は 57,690 人(平成 17 年 4 月 1 日現在)。ここ数年はほぼ横ばいの状態が続いている。

4.2.2 産業と地域経済

・ 産業別就業人口

産業三部門での就業者人口は、第一次産業が 14.0%、第二次産業が 43.0%、第三次産業が 43.0%で第一次産業の割合が全国(5.0%)、茨城県(8.2%)と比較して高い地域である。

・ 耕種農業

坂東市の中心部には猿島大地が広がり、周囲には利根川をはじめとする河川も多く、農産物生産に適した土地柄である。そのため市域の 46%を耕地が占め、レタス、ネギ、ハクサイ、トマトなどの茨城県銘柄産品をはじめ、多くの種類の野菜を生産している。

坂東市の耕種農業は、農家数・農家人口・耕地面積などは減少傾向にあるが、産出額はそれほど減少していない。しかし近年は、農業従事者の高齢化と後継者不足の問題を抱えている。一方で、一戸当たりの耕地面積は近年増加しており、経営規模の大規模化が進んでいる。

・ 畜産業

坂東市において、農業産出額に占める畜産業の割合は 27.5%で全国(14.8%)や茨城県全体(23.9%)と比較して高く、畜産業が盛んな地域であることが分かる。旧岩井地区では畜産業の産出額は若干の減少傾向にあり、旧猿島地区では多少の変動はあるものの、ほぼ横ばいの状態である。畜産業算出額の内訳は、養鶏が 64%、養豚が 30%、残りが乳牛・肉牛である。

- ・ **その他産業**

坂東市内には現在「つくばハイテクパークいわい」と「沓掛工業団地」二つの工業団地が造成されている。食品・化学などの工場・事務所が入っており、つくばハイテクパークいわいには 12 の企業が、沓掛工業団地には 5 つの企業が操業している。

4.2.3 廃棄物管理

- ・ **生活系廃棄物**

生活系廃棄物は可燃ごみ・不燃ごみ・ペットボトルなど 9 分別が指定されており、守谷市にある常総環境センターに搬出している。そして常総環境センターで焼却後、さらに域外の埋立処分場に埋立処分されている。坂東市では、昭和 47 年から常総地方広域市町村圏事務組合に一般廃棄物処理を委託しており、常総環境センターはその常総地方広域市町村圏事務組合が管理するごみ焼却場である。

- ・ **下水道事業**

旧岩井地区は公共下水道が整備されており、接続人口は 8,236 人である。汚水は岩井浄化センターで処理後、利根川に放流されている。処理区域内人口、接続人口ともに徐々に増加している。下水道水洗化人口率（接続人口/処理区域内人口×100）が 75%となっており、今後も接続人口の増加が見込まれる。

旧猿島地区は利根左岸さしま流域下水道で整備されている。接続人口は 1,216 人で汚水はさしまアクアステーションで処理後、利根川に放流されている。旧猿島地区では下水道水洗化人口率が 39.2%と低いことから、今後、接続人口は増加していくことが考えられる。

- ・ **その他生活排水処理対策**

坂東市では現在、上記した公共・流域下水道の他に、4 箇所の農業集落排水処理施設が稼動しており、合計使用人数は 2,927 人(平成 18 年 4 月 1 日現在)である。下水道を合わせた生活雑廃水処理人口は 16,501 人で、普及率は 28.6%となっている。また、合併処理浄化槽利用人口は 7,047 人(平成 17 年度末現在)である。単独処理浄化槽および、汲取り人口についての情報は公開されておらず、利用人口は後述する方法で推定した。

4.2.4 茨城農業改革と県西地域農業の改革プラン

茨城県では、近年農業産出額が年々低下していることから、農業の再生策を検討するため、平成14年1月に有識者からなる「いばらき農業改革研究会」を設置した。

この「いばらき農業改革研究会」の活動と連動して、坂東市など県西地域を対象とした、県西地域農業改革推進委員会が平成14年5月に設置された。平成15年3月には、県西総合事務所独自に「県西地域農業の改革プラン」を策定し、さらに翌月には、プランの進行管理のために124の推進方法や具体的推進方法を設定した「改革プランの行動計画」を策定している。

この「改革プランの行動計画」の中で、特にリン資源の管理と関係すると考えられる推進方策としては、エコファーマー・特別栽培農作物認証の取得推進、畜産農家における堆肥製造施設の整備及び耕種農家との連携強化による堆肥の有効利用、畜産農家と耕種農家の組織化の支援、などの項目が挙げられている。

具体的な取り組みとして、「坂東地域堆肥マップ」を作成し、畜産農家と耕種農家との連携強化に取り組んでいる。

4.3 リンフローの解析

4.3.1 システムの構成プロセス

システムを構成するプロセスは、文献・ヒアリングなどから、生産部門2プロセス(畜産、農耕地)、流通・加工部門1プロセス(工業団地)、家庭等における消費部門の1プロセス(消費)、廃棄物処理部門の6プロセス(畜産排水処理、堆肥製造、農作物残渣、農村集落排水処理、浄化槽、公共下水道)の10プロセスを設定した。

なお、各種製品の市場における流通過程はシステムの構成要素から除外した。よって、域内で生産された製品は一端「市場」というシステム外部のプロセスを経た後、消費プロセスのフローとして再び域内に搬入されると想定した。

4.3.2 プロセス間の各種フローと移動量の決定

・ 畜産業(図4.3-1)

先述したように、坂東市は畜産業が盛んな地域である。現在、坂東市内で飼育されている家畜は、乳用牛896頭、肉用牛215頭、豚28,900頭、採卵鶏1,494,000羽である。また、近年施行された「家畜排泄物処理法」への対応状況は、ほぼ全畜産農家が堆肥化施設などを設置し対応済みである。

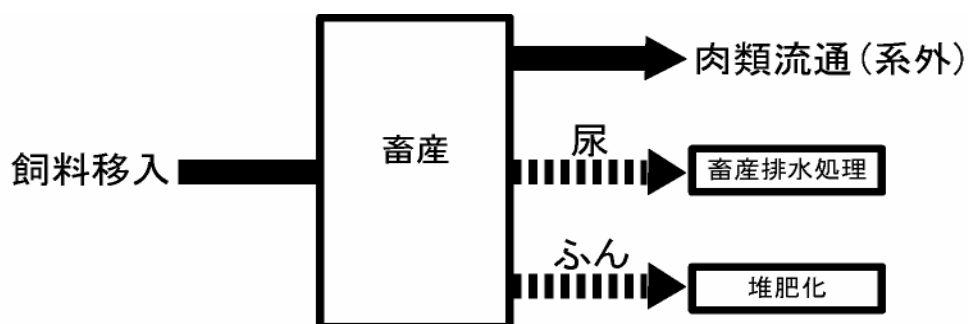


図4.3-1 畜産プロセス(移入フロー×1、移出フロー×3)

畜産プロセスへの投入は飼料投入の1系統のみとした。実際の畜産の現場では飼料以外にも、敷料などの副資材が使用されているが、今回は解析対象としなかった。プロセスからの搬出は肉類の出荷、及び家畜排泄物(ふん、尿)の3系統を設定した。畜産プロセスから産出される肉類については、全て市場に流通するとし、尿は畜産排水処理プロセスへ、ふんは堆肥化プロセスへ移動するとした。

表4.3-1～2にそれぞれのフローの計算方法を示した。市町村単位では、用いられた飼料の量の統計情報が存在しないため、排泄物および、肉類の出荷量の合計を飼料投入量とした。ふん・尿の発生量は、畜種別の一頭当たりの発生原単位に頭数をかけて算出した。肉類の流通量については、飼育頭数当たりの出荷原単位を用いて出荷量を計算し、出荷量に食品標準成分表の可食部リン含量をかけて算出した。

表4. 3-1 畜産製品中リン含量の計算

		採卵鶏	牛乳	豚肉	牛肉
飼育頭数		1,397,000	896	28,900	215
飼養頭数当たり出荷量	t/頭(羽)	0.0167	5.6	1.9	0.59
出荷量・頭数	t or 頭	23,397	5,026	54,233	128
精肉生産係数	kg/頭	-	-	52	306
精肉出荷予想量	t	-	-	2,820	39
各製品中リン含量	mg/kg	1,800	1,000	1,800	1,600
出荷リン量	t	42.1	5.0	5.1	0.1

鶏卵・牛乳中リン含量(t)=飼育頭数×頭数当たり出荷量×製品中リン含量×10⁻⁶

豚肉・牛肉中リン含量(t)=飼育頭数×頭数当たり出荷頭数×生肉生産係数×製品中リン含量×10⁻⁶

表4-3. 2 畜産廃棄物中のリン量の計算

畜種	飼養頭数 頭(千羽)	排出原単位(gP/頭(羽)/日)			リン排出量(tP/year)			
		ふん	尿	合計	ふん	尿	合計	
乳牛	搾乳牛	599	42.9	1.3	44.2	9.4	0.3	9.7
	乾・未経	100	16	3.8	19.8	0.6	0.1	0.7
	育成牛	197	14.7	1.4	16.1	1.1	0.1	1.2
肉用牛	215	15.8	0.7	16.5	1.2	0.1	1.3	
豚	肉豚	18,785	6.5	2.2	8.7	45	15.1	60
	繁殖豚	2,890	9.9	5.7	15.6	10	6.0	16
	子豚	7,225	1.9	0.5	2.4	5.0	1.3	6.3
採卵鶏	成鶏	1,494		0.58	0.58		316	316
坂東市合計						389	23	412

・ 農耕地(図4. 3-2)

坂東市の作付け面積は 5,900ha で、水稻やレタスの栽培などが盛んに行われている。図4. 3-2に農耕地プロセスのフローを示した。



図4. 3-2 農耕地プロセス(移入フロー×3、移出フロー×2、ストック×1)

農耕地には肥料として域内の堆肥化プロセスで製造された堆肥、域外から搬入される有機肥料、域外から搬入される化学肥料の3系統が投入されるとした。プロセスからの搬出は、作物の市場への出荷と、農作物の残渣の2系統を設定した。土壌の流出などは対象外とした。生産された作物は全て市場に流通するとした。また、農作物残渣は域内でストックされるとした。これらの差し引きから算出される差分については土壌固定され農耕地にストックされることとした。

表4. 3-3に算出に用いたデータを示した。なお、表中には作付け面積の上位十種類のもののみ記載した。農耕地に投入される全肥料の量は、茨城県の施肥基準量に作付け面積をかけて算出した。また、農耕地に投入される有機肥料と無機肥料の割合を全国の肥料流通量から算出し、全投入量に対しての有機・無機肥料の投入量を算出した。有機肥料は、域内で生産される堆肥が優先的に使用されると仮定し、不足分を市場から調達するとした。作物中の量については、食品標準成分表の作物生産量に可食部リン含量をかけて算出した。農作物残渣は、農作物の主生産物に対する副生産物発生量の比から算出した。副産物の発生量の比率が分からなかった作物に関しては、三浦市の結果から算出された副産物比率=0.64を用いた。

表4-3. 3 農耕地への肥料投入と作物中の含有量の計算

作物	作付け面積 (ha)	出荷量 (t)	施肥基準 (kgP/ha)	標準施肥量 (tP)	可食部リン含量 (mg/kg)	主産物リン量 (tP)	副産物比率	副産物リン量 (tP)
水稻	2,269	11,940	44	99	940	11.2	1.07	12.0
六畳大麦	82	235	52	4	1,800	0.4	0.64	0.3
小麦	81	187	52	4	3,500	0.7	0.30	0.2
レタス	1,416	25,117	87	124	220	5.5	0.64	3.5
ねぎ	549	15,072	131	72	350	5.3	0.64	3.4
はくさい	235	13,096	87	21	330	4.3	0.49	2.1
キャベツ	169	6,966	87	15	270	1.9	0.79	1.5
とうもろこし	113	787	79	9	270	0.2	0.07	0.0
ほうれん草	106	1,178	55	6	470	0.6	0.64	0.4
ちんげんさい	57	1,574	46	3	270	0.4	0.64	0.3

・ **工業団地(図4. 3-3)**

坂東市にある二つの工業団地のうち、つくばハイテクパークいわいに関しては公共下水道に接続しており、操業時には公共下水道への流入水中の15%~20%が工業団地からの排出分となる。

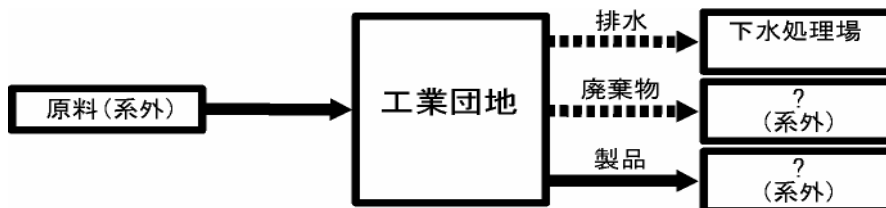


図4. 3-3 工業団地プロセス(移入フロー×1、移出フロー×3)

工業団地には系外から原料が投入され、団地内での加工プロセスを経て、排水は下水処理場へ、廃棄物および製品は系外へ搬出されるとした。

工業団地内でのプロセスに関する情報が得られなかったため、工業団地からの排水を処理場に送るポンプ上の水質データより、排水中のリン含量のみ算出した。

・ **消費(図4. 3-4)**

坂東市の人口は57,690人で、下水道などの整備状況は6.3に記した。

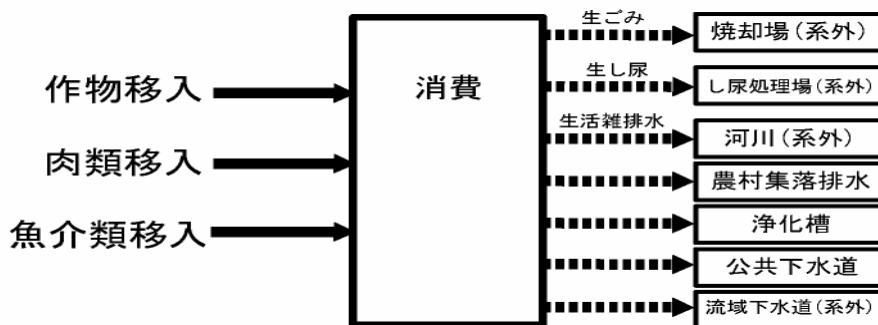


図4. 3-4 消費プロセス(移入フロー×3、移出フロー×7)

プロセスで消費されるのは食品の摂取によって消費される作物、肉類、魚介類の3系統とした。リンは洗剤に利用されることもあるが、現在では一部の業務用洗剤を除いて、無リン化が完了していることから、洗剤からの移入は対象外とした。排出フローは焼却場、し尿処理場など、系外への搬出が4系統と、系内の他のプロセスへの移動の3系統の計7系統を設定した。

生ゴミは一般廃棄物の発生量に厨芥率をかけて厨芥発生量を求め、摂取食物の平均リン含量をかけて算出した。公共下水道については、流入水中のリン濃度に流入水量をかけて算出した。なお、流域下水道についてはデータを得ることができなかったため、接続人口に公共下水道のデータから得た平均排出量をかけて算出した。生活雑排水、農村集落排水、浄化槽へのフローは、利用人口に一人一日当たりのリン排出原単位を用いて計算した。生し尿は搬出量に生し尿の一般的な濃度をかけて算出した。

・ 畜産排水処理(図4. 3-5)



図4. 3-5 畜産排水処理プロセス(移入フロー×1、移出フロー×2)

畜産業から排出される廃棄物のうち、尿については排水処理施設で活性汚泥法などによって処理されるのが一般的である。また、処理によって発生した汚泥は脱水後、ふんと混合して堆肥化されることが多いことから、汚泥は堆肥製造プロセスに移動すると設定した。

尿中のフローは畜産プロセスで示した。こうした水処理は各畜産農家が個別で行っているため、規制がかかっている BOD 以外のデータはほとんど入手できなかった。文献による報告では、標準活性汚泥法の他にも多くの処理法方がとられており、90~100%近い除去率を示している。しかし、こうした浄化方法は先進的な事例で、活性汚泥法のみでの対処では除去率はさらに低い値と考えられる。ここでは排水処理によるリンの除去率を 80%として、投入されたリンのうち 8 割が汚泥として堆肥化に、2 割が処理水として河川に排出されるものとした。

・ 堆肥製造(図4. 3-6)



図4. 3-6 堆肥化プロセス(移入フロー×2、移出フロー×2)

畜産業から直接排出されるふんと、畜産排水処理プロセスから発生する汚泥については、堆肥化プロセスで肥料として利用できる状態になる。製造された堆肥は、自家消費されるほか、地域内の耕種農家に利用され、システム内の農地に優先的に投入されるとした。余剰分については肥料として市場に流通するとした。

すでに畜産排水処理プロセスからの汚泥量、畜産プロセスからのふん量が分かっており、製造される堆肥に含まれるリン量は 406t であった。また、堆肥化によって製造される堆肥は地域内の堆肥需要を十分に満たす量であったため、農耕地への有機肥料の投入は域内の堆肥によって全てまかなわれることになり、残りが市場に流通するとした。域内での堆肥の需要量は農耕地プロセスで算出したように 179t であったため、差分の 228t の堆肥が外部に搬出されていることになる。

- ・ **農作物残渣**

農耕地プロセスにて算出した。

- ・ **農村集落排水処理(図4. 3-7)**



図4. 3-7 農村集落排水処理プロセス(移入フロー×1、移出フロー×2)

坂東市内には農村集落排水処理施設が4箇所設置されている。しかし、システムの分析の簡略化のため、これらの施設は農村集落排水処理プロセスとして統合した。消費からの排水フローは、流入水質はデータが入手できなかったため、公共下水道の流入水質を用いて算出した。処理水質は処理質の平均値に流量をかけて算出した。

- ・ **浄化槽(図4. 3-8)**



図4. 3-8 浄化槽プロセス(移入フロー×1、移出フロー×3)

浄化槽には合併浄化槽と単独浄化槽があるが、それらを一括して浄化槽プロセスとした。浄化槽プロセスへの流入フローは浄化槽利用人口に一人当たり年間排出係数をかけて算出した。し尿処理場への搬出量に関しては、し尿処理場への汚泥の搬入量に、汚泥中リン含量をかけて算出した。処理水の河川へのフローは消費からの流入から、汚泥として搬出された量の差分から求めた。

- ・ **公共下水道(図4. 3-9)**

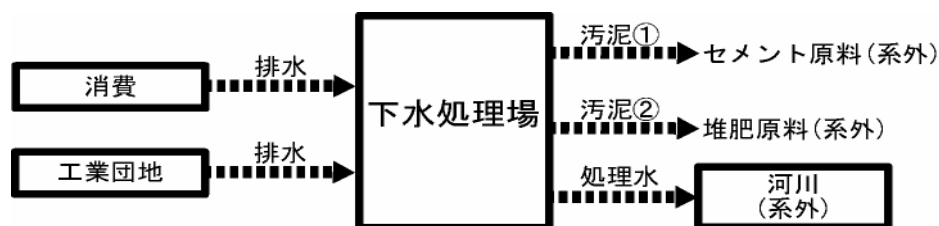


図4. 3-9 下水処理場プロセス(移入フロー×2、移出フロー×3)

下水処理場への流入は消費プロセスと工業団地プロセスからの2系統とした。排出は河川への処理水、セメント原料となる汚泥①、堆肥原料となる汚泥②の3系統とした。

下水処理場への流入量は、流入水の水質に水量をかけて流入総量を求めた。消費からの流入量は、流入総量から工業団地からの流入量を差し引いて求めた。

処理水への排出は処理水質に流量をかけて求めた。汚泥への排出は、流入総量から処理水分を引いて、汚泥の搬出実績の割合から、セメント原料化と堆肥原料化への移動量を決定した。

4.3.3 MFAの結果

- ・ **システムへの移入**

坂東市への移入量は年間で696tであった。主なフローは畜産プロセスへの飼料の投入で67%を占めた。次いで農耕地への化学肥料の投入で29%であった。消費プロセスへの移入量は4%であった。

- ・ **システム外部への移出**

坂東市から外部への移出量は年間349tで、そのうち堆肥の搬出が65%を占めた。製品として外部に搬出される肉類・作物はそれぞれ15%と10%であった。堆肥を除いた製品の搬出量合計は85.9tで、システム内で人間によって消費される量の3.0倍であった。河川への排出負荷は浄化槽処理水が69%を占め、次いで畜産排水処理水が23%であった。

- ・ **システム内部へのストック**

システム内へのストックは土壌固定と、農作物残渣のみであった。畜産プロセスから発生したふんと畜産排水処理プロセスから発生した汚泥が堆肥としてシステム内で有効利用されている廃棄物フローと考えられた。

- ・ **廃棄物関連フロー**

畜産プロセスから排出されるふん・尿の堆肥化を除くと、域内で有効利用される廃棄物は存在しなかった。しかし、下水汚泥の一部は堆肥化の原料として域外へ搬出されていた。

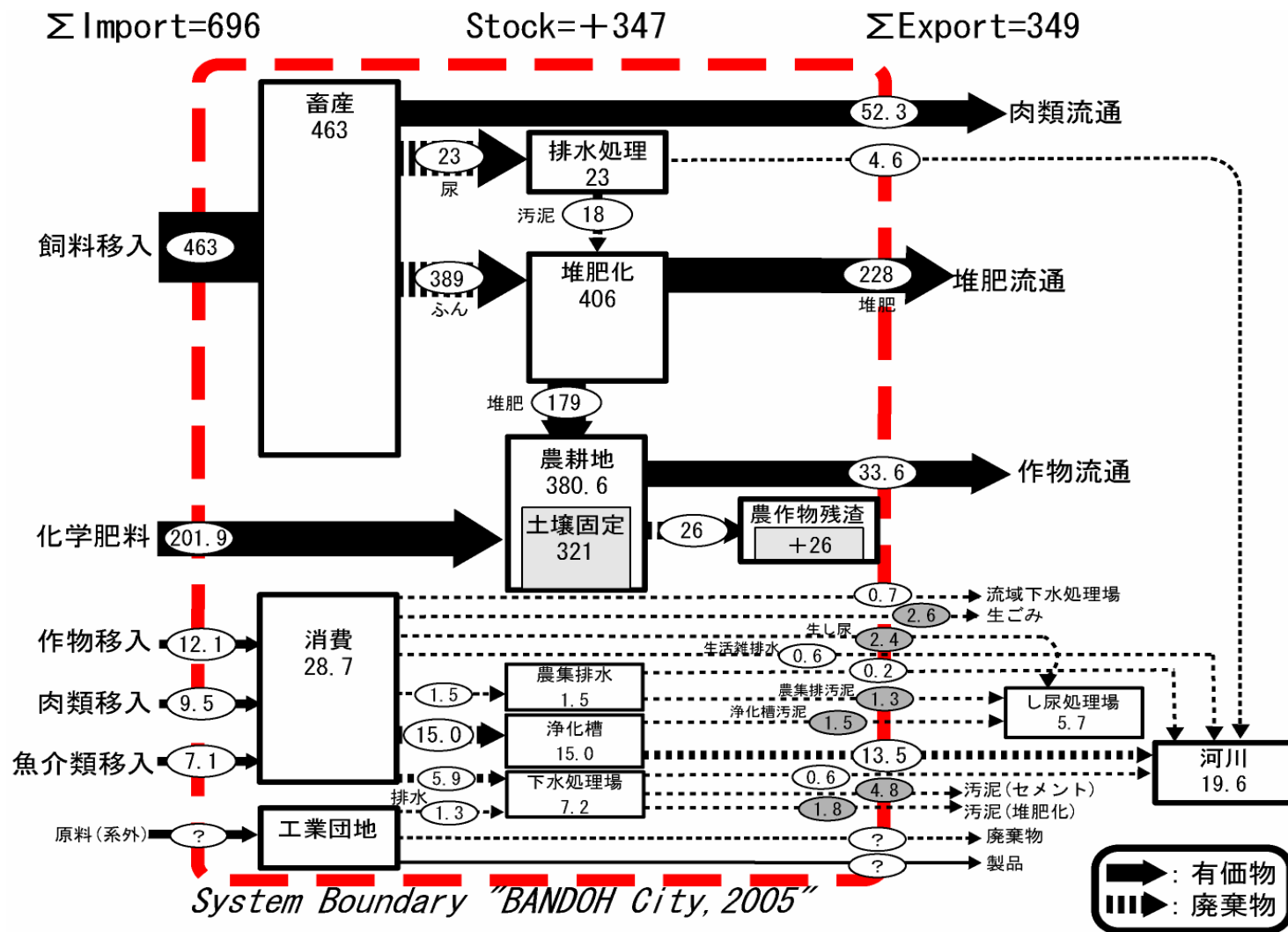


図4. 3-10 坂東市におけるリンフロー

4.4 対象地域の特徴とリン資源管理のポイント

5.3 で述べた結果に加え、既存の文献などの情報から対象地域の特徴を切り出し、リン資源循環活用のためにどのような戦略が必要なのか考察した。

4.4.1 畜産業内部における循環利用と排出負荷量

坂東市においてフローの大部分を占めたのは畜産業であった。ただし、ふん・尿の発生量は計算に利用する原単位によって大きく異なる結果が得られている。今回の計算では築城・原田(1997)の文献値を引用したが、中央畜産会の堆肥化マニュアルの数値を使って計算すると、家畜排泄物の発生量はふん・尿をあわせて約 750t と算出された。このように原単位を用いた計算では、前提条件として計算結果にある程度の幅があることを認識しておく必要があるが、いずれにしても坂東市においては畜産廃棄物の管理が最も重要である。なお、今回、築城・原田の文献値を用いたのは、手に入った情報の中では最も新しいデータであったこと、計算に関係するファクターが少ないこと、などの理由からである。

畜産業から発生するし尿の適正処理の問題は、家畜排泄物法の施行によってすでに対応が進んでいる。しかし、日本の畜産業の現状として飼料作物の栽培をほとんど行っていない畜産農家による堆肥の自家消費は不可能である。こうした状況を示す指標としては、飼料作物作付け面積当たりの乳牛成牛換算の家畜密度が挙げられる。これは、各畜種の頭数を、窒素の排出量などから乳牛頭数に換算した値を飼料作物の栽培面積で除したものであるが、窒素負荷で言えば、これが 2 頭以上になると供給過剰になるといわれている(竹中・秦(2002))。坂東市の畜産業は養豚・採卵鶏が多く自給飼料離れが進んでいる。そのため飼料作物の作付け面積 223ha に対し、リンの排出量を用いて乳牛成牛に換算した家畜頭数は 25,118 頭で、飼料作物作付け面積当たり家畜密度は 112 頭/ha となる。全耕地面積で考えても 4.2 頭/ha となり、市域全体で有効利用しても供給過剰となると予想される。

今回の MFA の結果にもこうした状態が反映されている。農耕地での堆肥需要量 179tP/year に対して、畜産業の供給量が 406tP/year となっており、228tP/year の余剰の堆肥が発生していると考えられる。農耕地での肥料需要 380tP/year を全て堆肥によって満たすことが出来るようになることも可能だがこれは全農家が有機栽培を行うと仮定するようなもので現実的ではない。ただし、施肥基準量は実際の現場での使用量と比較して低い値となっていることが報告されている(西尾(2003))ことから、実際の投入量は今回の計算結果よりも多い可能性はある。

こうした状況から、坂東市においては資源の有効利用と畜産廃棄物の適正な管理のための最低限の要件として、畜産農家と耕種農家の連携が必須である。また、それに加えて、域内で消費しきれない堆肥の利用を、他地域との連携などを推進していく必要があると考えられる。MFAを行うことによって、肥料の需給バランスを定量的に把握することは、坂東市のように畜産業が盛んな地域においては、適切な利用方法・連携先などを検討するに当たっての重要な情報となりうる。

4.4.2 近隣地域との連携可能性

坂東市域内では供給される堆肥に対して需要量が少なく、今後も大幅な増加は見込まれないことから、周辺地域の状況を踏まえ連携して堆肥の利用に取り組んでいく必要があると考えられる。そこで、坂東市周辺地域の市町村について、統計情報から堆肥の需要と供給バランスの分析を試みた。

先述した茨城農業改革の中で堆肥利用促進のために、県西総合事務所が作成した「坂東地域堆肥マップ」の対象エリアは五霞町、古河市、堺町、坂東市の2市2町であった。これに加え、坂東市と隣接する常総市、八千代町、野田市(千葉県)を分析対象とした。

堆肥の供給量の算出は、畜種ごとの飼養頭数に今回の推定で用いたし尿中のリン排出原単位をかけて、その合計を堆肥原料としてのリンの発生量とした。本来ならば、同じ畜種でも月齢などによって原単位は変化するが、ここでは簡略化した。しかし、坂東市の数値を見るとおおむねMFAの結果と一致することがわかる。これに対し、堆肥の需要量は田・畑の農耕地面積にそれぞれの施肥基準量をかけて、そのうち約半分が堆肥によって賄われる可能性があるとして仮定し、2分の1をかけたものを堆肥中のリン需要量とした。なお、窒素肥料と農薬の使用量を慣行使用量の半分に減らすことによって、「特別栽培農作物」の認定を受けることが出来ることからここではリン肥料についても2分の1の削減が目標となると想定した。田の施肥基準量は $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}(=43.7 \text{ kgP}/\text{ha})$ 、畑に関しては作物別に求めるべきだが、平均的な値として、 $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}(=87.3 \text{ kgP}/\text{ha})$ を用いた。これについても、坂東市のMFAの結果とおおむね一致することから、需給バランスを解析するには問題ないと判断した。分析の結果を表5.5-1に示した。

表5. 4-1 畜産業由来の堆肥中リンの供給量と需要量の試算

	乳用牛		肉用牛		豚		採卵鶏		供給量 合計 (tP)	農耕地面積		P需要量			堆肥需要 (tP)
	頭数 (頭)	P量 (tP)	頭数 (頭)	P量 (tP)	頭数 (頭)	P量 (tP)	羽数 (千羽)	P量 (tP)		田 (ha)	畑 (ha)	田 (tP)	畑 (tP)	合計 (tP)	
五霞町	-	0	-	0	-	0	-	0	0	1,030	54	23	2	25	25
古河市	-	0	453	3	13,699	44	105	22	68	2,430	3,060	53	134	187	118
堺町	685	11	445	3	12,834	41	78	17	71	1,100	1,300	24	57	81	10
常総市	807	13	2,000	12	7,897	25	201	43	93	4,700	1,420	103	62	165	72
八千代町	471	8	252	2	3,047	10	-	0	19	1,830	1,810	40	79	119	100
野田市	1,500	24	-	0	-	0	-	0	24	1,520	1,290	33	56	90	65
坂東市	896	14	215	1	28,907	92	1,494	316	424	2,880	3,000	63	131	194	-230

五霞町、古河市、堺町は県が主導する坂東地域堆肥マップの対象地域である。この3市町は全て供給量に対して、需要が超過しているため、堆肥需要が見込まれる。特に古河市において坂東市が供給可能な堆肥の50%程度の需要が見込まれることが分かった。しかし、堆肥化マップの対象地域だけでは坂東市から発生する堆肥を利用しきれない可能性があることが分かる。

さらに坂東市と隣接する常総市、八千代市、野田市(千葉県)についてみると、八千代市に需要があることが分かる。また、常総市、野田市についても供給可能量の30%程度の需要が見込まれた。

この結果から、坂東地域堆肥マップの範囲内では供給量に対し需要が足りないが、距離で言えばほとんど変わらない、他の隣接した市町村と連携することで、供給量が需要量を越え、生産された堆肥を農耕地で消費することが可能になると考えられた。

4.5 まとめ

MFAを行うことによって、畜産業が盛んな坂東市における、リンフローを明らかにした。坂東市では畜産業に関連したフローが量的には大部分を占め、その管理の重要性を定量的に明らかにすることが出来た。

畜産廃棄物の処理として、一般的に行われている堆肥化だが、特に畜産業が盛んな地域においては、供給過剰となりやすい。地域全体としての農業の規模が縮小傾向にあることから、供給過剰の状態を解消する上で、周辺地域の耕種農家との連携が重要であると考えられた。周辺地域との連携を図る場合、周辺地域の畜産業と農業の統計情報から、容易に需給バランスを解析することが出来た。

今回の結果から、MFAによって、地域ごとで域内に存在する未利用資源を把握し、その活用を促進していくとともに、MFAの結果と統計情報から、需給バランスの解析を行うことが周辺地域とのスムーズな連携を促進するために有効であると考えられた。

第 5 章 Case Study II ～千葉県柏市～

5.1 対象地域の選定

リンは家庭からの排出される際には、ほとんどがし尿あるいは生活雑排水として排出され、全国的なリンフローにおいても、家庭からの排水処理が重要な位置を占めることはすでに報告されている。また、閉鎖性水域のリン・窒素による富栄養化防止という観点からも栄養塩類のフローを把握し、そのフローから適正な管理のあり方を検討することが重要だと考えられる。なお、下水道分野では早くからリン資源の有効利用に関する議論がなされており、近年、下水からリンを化学的に回収する方法が確立されつつある。

こうした状況を踏まえ、人口の集積が進み、かつ下水道などの都市インフラの整備が進んだ都市・消費型の地域を対象に、下水道からのリン資源回収の可能性を、地域レベルでの資源管理の視点から評価する必要があると考えた。

そこで、首都圏東部のほぼ中心に位置し、松戸市と並んで東葛飾地域の中心都市である千葉県柏市を調査対象とすることとした。

5.2 地域の概要(表 5. 2 - 1)

表 5. 2 - 1 柏市の概要

人口・産業構造など										
地域面積(ha)	総人口(人)	一次産業(人)	二次産業(人)	三次産業(人)						
11,492	373,778	3,247	44,316	134,390						
農家数(戸)										
農家数(戸)	専業農家(戸)	第1種兼業(戸)	第2種兼業(戸)	自給的農家(戸)						
2,067	398	440	765	464						
2)作物別作付け面積と収穫量										
	かぶ	ねぎ	だいこん	水稲	ほうれん草	ニホンなし	キャベツ	にんじん	さといも	えだまめ
作付け面積	394	297	125	1,100	272	61	26	35	63	77
収穫量(t)	17,650	8,540	7,000	5,850	4,670	1,523	1,248	1,209	756	665
3)畜産農家戸数と飼養頭数										
	乳牛	肉牛	豚	採卵鶏	ブロイラー					
戸	1	3	3	1	—					
頭(千羽)	x	90	2,000	87	—					

5.2.1 地理と人口

・ 地理

柏市は、千葉県北西部の東葛飾地域に位置し、首都圏東部の中心的な地域である。市域は南北約15キロ、東西約18キロである。地勢は概ね平坦で、下総台地の広い台地上を中心に、市街地や里山が形成されている。また、大堀川、大津川、金山落などの川沿いや、手賀沼や利根川沿いに分布している低地では、干拓事業や治水事業なども進められ、まとまった農地等となっている。

・ 人口

人口は381,387人(平成17年3月1日現在)で、平成17年に沼南町を吸収合併し約45,000人が新たに加わった。現在、旧柏市、旧沼南町のいずれの地域の人口も緩やかな増加傾向である。また、平成17年8月のつくばエクスプレスの開通に伴い、これまで開発が遅れてきた北西部地域において沿線開発が進むと考えられ、当面の間、人口の増加傾向が続くものと考えられる。

5.2.2 産業と地域経済

・ 産業別就業人口

産業三部門での就業者人口は、第一次産業が2.0%、第二次産業が24.3%、第三次産業が73.8%と千葉県内でも第三次産業の割合が高い(千葉県71%、全国64.3%)地域である。

・ 農業

専業農家率17%は全国(21%)、千葉県(19%)と比較して低い値となっている。農家数、耕地面積も減少傾向にあり、耕地利用率も46.0%(平成16年～平成17年千葉農林水産統計年報より)と全国(93.8%)、千葉県(94.8%)と比較して極端に低い値となっている。背景には利根川沿いのゴルフ場予定地の計画が頓挫し、登録上農地のまま耕作放棄地となっていることなどがある。農作物の生産量では特産品であるカブが一位で、ねぎ、ダイコン、ほうれん草、コメと続く。畜産農家は都市化や家畜排泄物法の施行などの要因から減少傾向ではあるが、現在でも数件残っており、東葛飾地域では有数の規模の養鶏場が柏市内にあるほか、養豚も複数の経営主体が存在する。

・ その他産業

現在柏市内には十余二工業団地、柏三勢工業団地、根戸工業団地三つの工業団地で32社が操業している。特にリンフローに関連すると考えられる食品加工業では、アサヒ飲料、伊藤ハム、日鶏食品が団地内で操業している。

5.2.3 廃棄物管理

- 生活系廃棄物

現在、廃棄物の管理体制は、柏市と沼南町の合併前の体制をそれぞれの地域で引き継いでおり、柏市内で2つの処理システムが運用されている。

厨芥類を含む可燃ごみに関しては、旧柏地区では、柏市が管理する柏第一清掃工場及び、柏第二清掃工場にて焼却後、柏市最終処分場に埋立処分されている。

旧沼南地区に関しては、柏・白井・鎌ヶ谷環境衛生組合が管理するクリーンセンターしらさぎにて、焼却処理され、焼却灰は業者に処分委託されている。

- 下水道事業

柏市の下水道は、県が管理する「手賀沼流域下水道」と「江戸川左岸流域下水道」の二つの流域下水道の処理区域で整備されている。一部、かつて公共下水道で整備された地区に合流式の地区が残るが、そのほかの地域に関しては分流式で整備されている。

手賀沼流域下水道は柏市、我孫子市、流山市、松戸市、鎌ヶ谷市、印西市、白井市などが処理区域となっており、手賀沼終末処理場で処理される。接続人口は約 47 万人で、年間処理水量は 66,000 千 m³ である。

江戸川左岸流域下水道は、市川市、松戸市、流山市、野田市、柏市、船橋市、浦安市、鎌ヶ谷市などが処理区域となっており、江戸川第二終末処理場で処理される。接続人口は 88 万人で、年間処理水量は約 109,500 千 m³ である。

柏市は手賀沼流域下水道に約 30 万人、江戸川左岸流域下水道に約 13,000 人が接続しており、柏市分の処理水量はそれぞれ 43,000 千 m³ と 1,790 千 m³ である。

なお、下水道普及率(処理人口/行政区域人口)は 83.9%で、下水道接続率(下水道水洗化人口/計画人口)は 97.5%である。処理人口は徐々にではあるが増加している。普及率はかなり高くなってきているが、接続人口は当面の間増加を続けると考えられる。

- ・ その他生活排水処理対策

柏市の非水洗化人口(汲取り人口)は、約 9,500 人、浄化槽利用人口は約 62,000 人である。下水道の処理人口の増加に伴って、浄化槽・汲取り人口は徐々に減少しており、今後もしばらくはその傾向が続くと考えられる。

汲取りの生し尿、および浄化槽汚泥の処理体制も、生活系廃棄物の処理体制と同様に、2つの異なるシステムが運用されている。旧柏市分については「山高野浄化センター」にて、また、旧湘南地域分に関しては、鎌ヶ谷、白井から搬入されてくるものとあわせて柏・白井・鎌ヶ谷環境衛生組合が管理する「アクアセンターあじさい」にて処理されている。

5.2.4 手賀沼の汚染とその対策

手賀沼は柏市の南東部にある天然の湖沼で、面積は約 650ha、周囲が 38km あり、松戸市、柏市など 7 市 1 村が流域に含まれる(図 5. 2-1)。近年まで生活雑排水などの流入によって汚染され、昭和 49 年から平成 12 年まで、全国ワースト 1 の水質であったなど、水質汚濁で全国的に有名になっていた。このため、柏市などの流域市町村にとって手賀沼の浄化は地域の栄養塩類フローを語る上では必ずすことの出来ないトピックである。また、手賀沼の主要流入河川である大堀川、大津川はいずれも柏市を經由しているため、柏市の行政や多くの市民団体が手賀沼およびその流域河川の浄化に関係している。また、汚濁負荷量の多くが生活系の排出源が原因とされており(表 5. 2-1)、こうした水域の水質管理のためにも適切な、栄養塩類の管理が必要とされている。



図 5. 2-1 手賀沼の流域図

	COD		T-N		T-P	
	kg/日	%	kg/日	%	kg/日	%
生活系	1,775	51	715	48	76.4	60
産業系	279	8	167	11	25	20
自然系	1,430	41	604	41	25	20
合計	3,484	100	1,486	100	126.4	100

図5. 2-2に手賀沼の水質の経年変化を示した。この図からは平成7年度以降徐々に水質が改善していることが分かる。また、平成12年度には「北千葉導水事業」が本格稼働し始め、かなり水質は改善されたが、環境基準値を達成できないままここ数年下げ止まっており、更なる対策が必要になっていると考えられる。

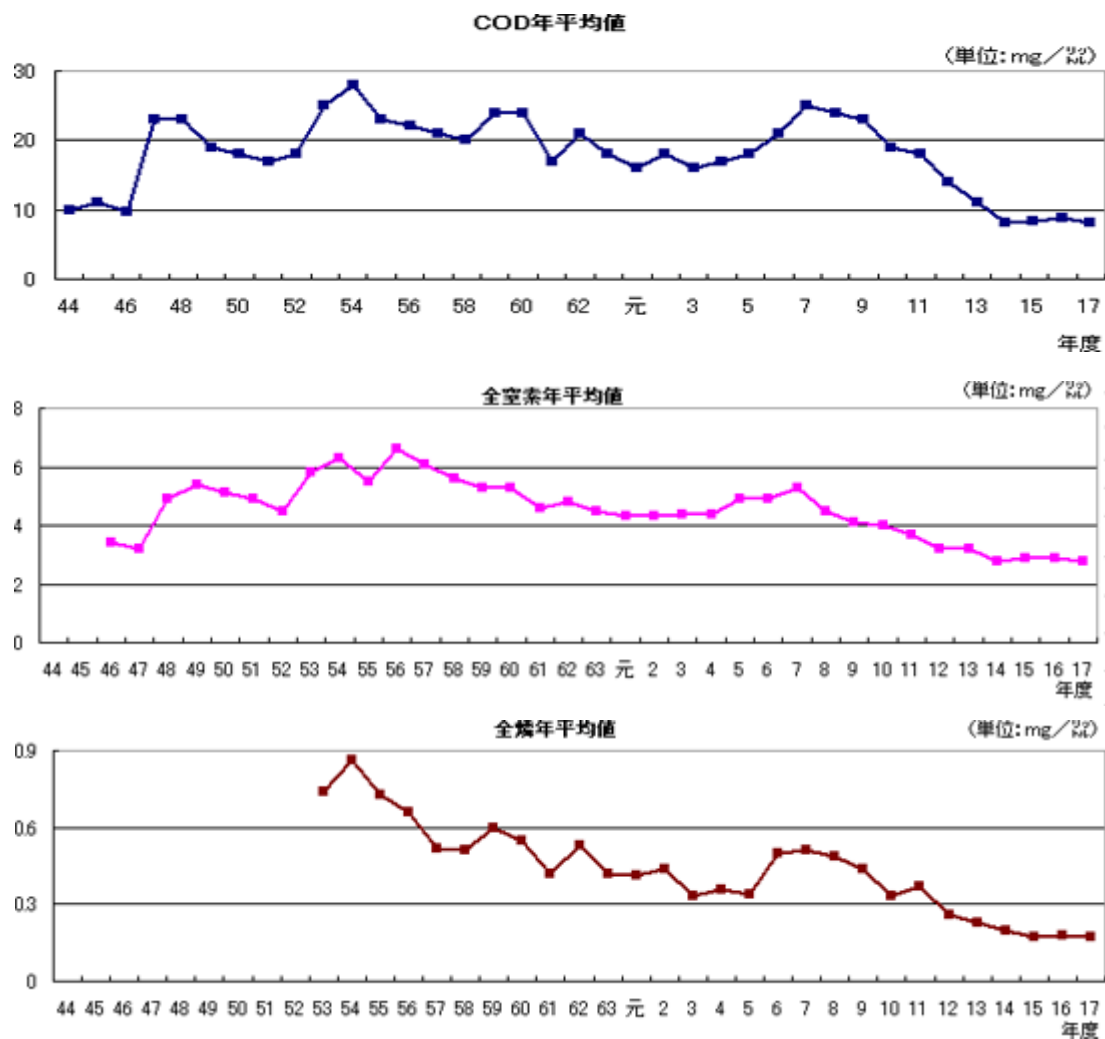


図5. 2-2 手賀沼 (測定点: 手賀沼中央) の水質経年変化

5.3 リンフローの解析

5.3.1 システムの構成プロセス

柏域内のシステムを構成するプロセスは、文献ヒアリングなどから、生産部門2プロセス(畜産、農耕地)、家庭等における消費部門の1プロセス(消費)、廃棄物処理部門の5プロセス(農作物残渣ストック、浄化槽し尿処理場、ごみ焼却場、埋立処分場)、また、域外ではあるが重要度が高いプロセスとして、手賀沼終末処理場と水域への流出を追加した。

ごみ焼却場は域内に柏第一、第二清掃工場とクリーンセンターしらさぎの三箇所が、また、し尿処理場は山高野浄化センターおよび、アクアセンターあじさいの2箇所が存在しているが、これらに関してはそれぞれ、ごみ焼却プロセスとし尿処理プロセスにまとめて計算することとした。

なお、江戸川左岸流域下水道の江戸川第二終末処理場に関しては、物理的に距離が離れていること、柏市の接続人口はそれほど多くないことから、終末処理場に向かうフローの計算は行ったがプロセスとしては設定しなかった。

また、水域への排出に関しては、手賀沼の浄化などを扱うには流域ごとに区別して扱う必要があるが、柏市は域内に江戸川、利根川、手賀沼、利根運河の四つの流域を要しており、それらを区別して扱うことが情報の精度などから困難であったため、「水域」への流出として扱うこととした。

5.3.2 プロセス間の各種フローを移動量の決定

- 畜産(図5.3-1)



図5.3-1 畜産プロセス(移入フロー×1、移出フロー×2)

畜産プロセスへの投入は飼料投入の1系統のみとした。実際の畜産の現場では飼料以外にも、敷料などの副資材が使用されているが、今回は解析対象としなかった。プロセスからの移出は肉類の出荷、及び家畜排泄物(ふん、尿合算)の2系統を設定した。畜産プロセスから産出される肉類については、全て市場に流通するとし、家畜排泄物は全て農耕地に投入されるとした。

フローの計算方法は坂東市での分析と同様に行い、ふんと尿の区別は行わなかった。

- 農耕地(図5.3-2)

柏市の耕地面積は2,710haで、水稻の他、カブ、ダイコン、ほうれん草、ねぎなどの栽培が盛んである。

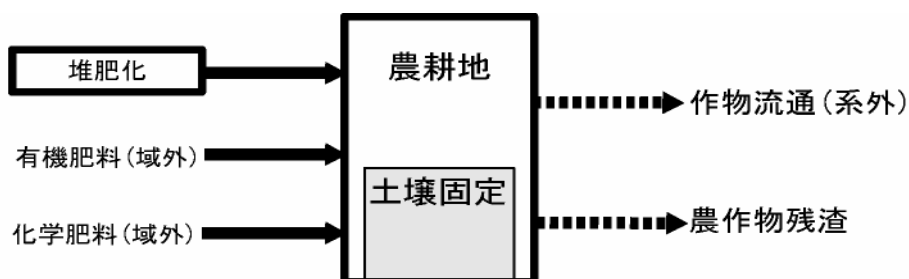


図5.3-2 農耕地プロセス(移入フロー×3、移出フロー×2、ストック×1)

農耕地には肥料として域内の畜産プロセスから排出された堆肥と、域外から搬入される有機肥料、域外から搬入される化学肥料の3系統が投入されるとした。プロセスからの搬出は、作物の市場への出荷と、農作物の残渣の2系統を設定した。土壌の流出などは対象外とした。生産された作物は全て市場に流通するとした。また、農作物残渣は域内でストックされるとした。移入フローと移出フローの差分については土壌固定され農耕地にストックされることとした。

各フローは坂東市と同様の方法で求めた。

- 消費(図 5. 3-3)

柏市の人口は約 381,000 人で、下水道などの整備状況は 5.2 にて記した。

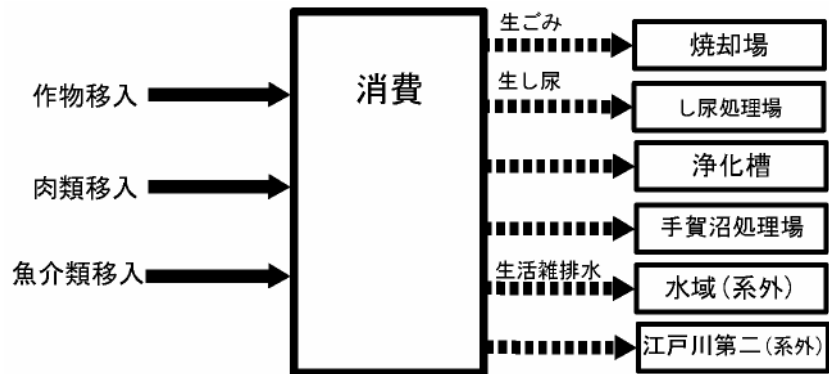


図 5. 3-3 消費プロセス(移入フロー×3、移出フロー×6)

プロセスで消費されるのは食品の摂取によって消費される作物、肉類、魚介類の3系統とした。リンは洗剤に利用されることもあるが、現在では一部の業務用洗剤を除いて、無リン化が完了していることから、洗剤からの移入は対象外とした。排出フローは系内の別プロセス(焼却場、し尿処理場、浄化槽、手賀沼終末処理場)への4系統と、系外への排出として水域への排出と江戸川第二終末処理場への排出の2系統を設定した。

生ごみは一般廃棄物の発生量に厨芥率をかけて厨芥発生量を求め、摂取食物の平均リン含量をかけて算出した。手賀沼終末処理場については、流入水中のリン濃度に流入水量をかけて算出した。なお、江戸川第二処理場については詳細なデータが入手出来なかったため、排出水量に手賀沼終末処理場のデータから得た下水中の平均リン濃度をかけて算出した。生し尿は搬出量に生し尿の一般的な濃度をかけて算出した。生活雑排水、浄化槽へのフローは、利用人口に一人一日当たりのリン排出原単位を用いて計算した。

- 農作物残渣

農耕地プロセスにて算出した。

- 浄化槽(図5. 3-4)

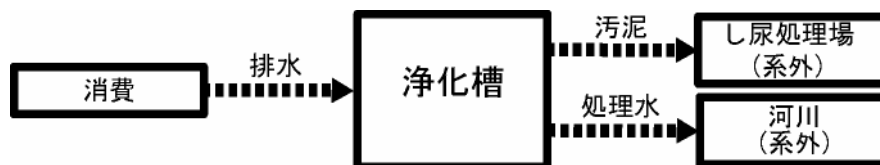


図5. 3-4 浄化槽プロセス(移入フロー×1、移出フロー×2)

浄化槽には合併浄化槽と単独浄化槽があるが、それらを一括して浄化槽プロセスとした。浄化槽プロセスへの流入フローは消費プロセスにて算出した。し尿処理場への搬出量に関しては、し尿処理場への汚泥の搬入量に、汚泥中リン含量をかけて算出した。処理水の河川へのフローは消費からの流入から、汚泥として搬出された量の差分から求めた。

- し尿処理場(図5. 3-6)

先述したように、柏市内では現在二箇所のし尿処理場が稼働している。しかし、機能的にはほとんど違いが無いいため、簡略化のためし尿処理場の1プロセスに統合した。

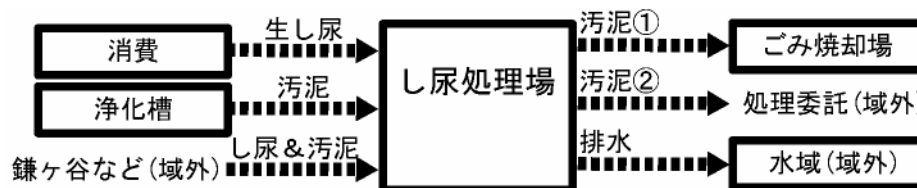


図5. 3-6 し尿処理場プロセス

移入は消費から排出される生し尿、浄化槽の汚泥、域外からの生し尿・汚泥の移入の3系統と設定した。なお、域外からの移入はアクアセンターあじさいに全て搬入されている。

排出はごみ焼却場に搬入される汚泥①と、業者に処理委託される汚泥②、水域に排出される排水の3系統と設定した。汚泥①は旧柏市分で山高野浄化センターから排出されるもので、汚泥②は旧沼南町分でアクアセンターあじさいから排出されるものである。

- ごみ焼却場(図5. 3-5)

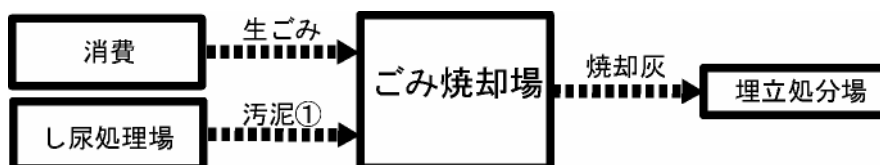


図5. 3-5 ごみ焼却場プロセス(移入フロー×2、移出フロー×1)

ごみ焼却場への移入は、消費から発生する生ごみとし尿処理場からの汚泥の2系統とした。また、焼却によって発生する焼却灰はすべて域内の埋立処分場に埋め立てられるとし、排出系統は埋立処分場への1系統とした。

- 埋立処分場(図5. 3-7)



図5. 3-7 埋立処分プロセス

埋立処分場に搬入されるフローはごみ焼却場の焼却灰のみとした。搬入されたものは全て処分場内にストックされると設定した。

- 手賀沼終末処理場(域外プロセス 図5. 3-8)

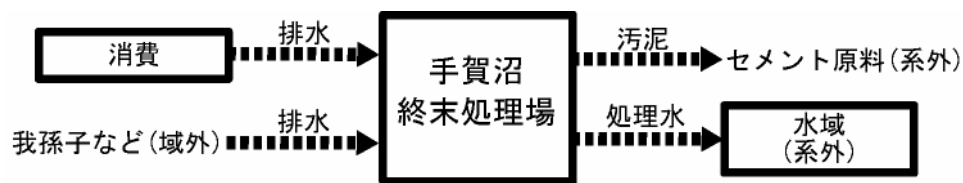


図5. 3-8 手賀沼終末処理場プロセス(移入フロー×2、移出フロー×2)

手賀沼終末処理場への移入は域内の消費プロセスからの排出と、域外の消費プロセスから排出の2系統設定した。流入総量は手賀沼終末処理場の流入水量に流入水中のリン含量をかけて算出した。さらに、全流入水中に対する柏市由来分の割合を算出し、その割合から、消費プロセスから流入量を決定した。そしてその差分を域外からの流入量とした。

排出は水域への処理水の排出と、汚泥の搬出の2系統とした。水系への排出は放流水に放流水中リン含量をかけて算出した。

- 水域(図5. 3-9)

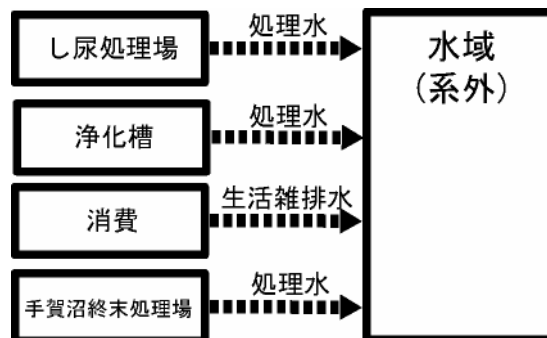
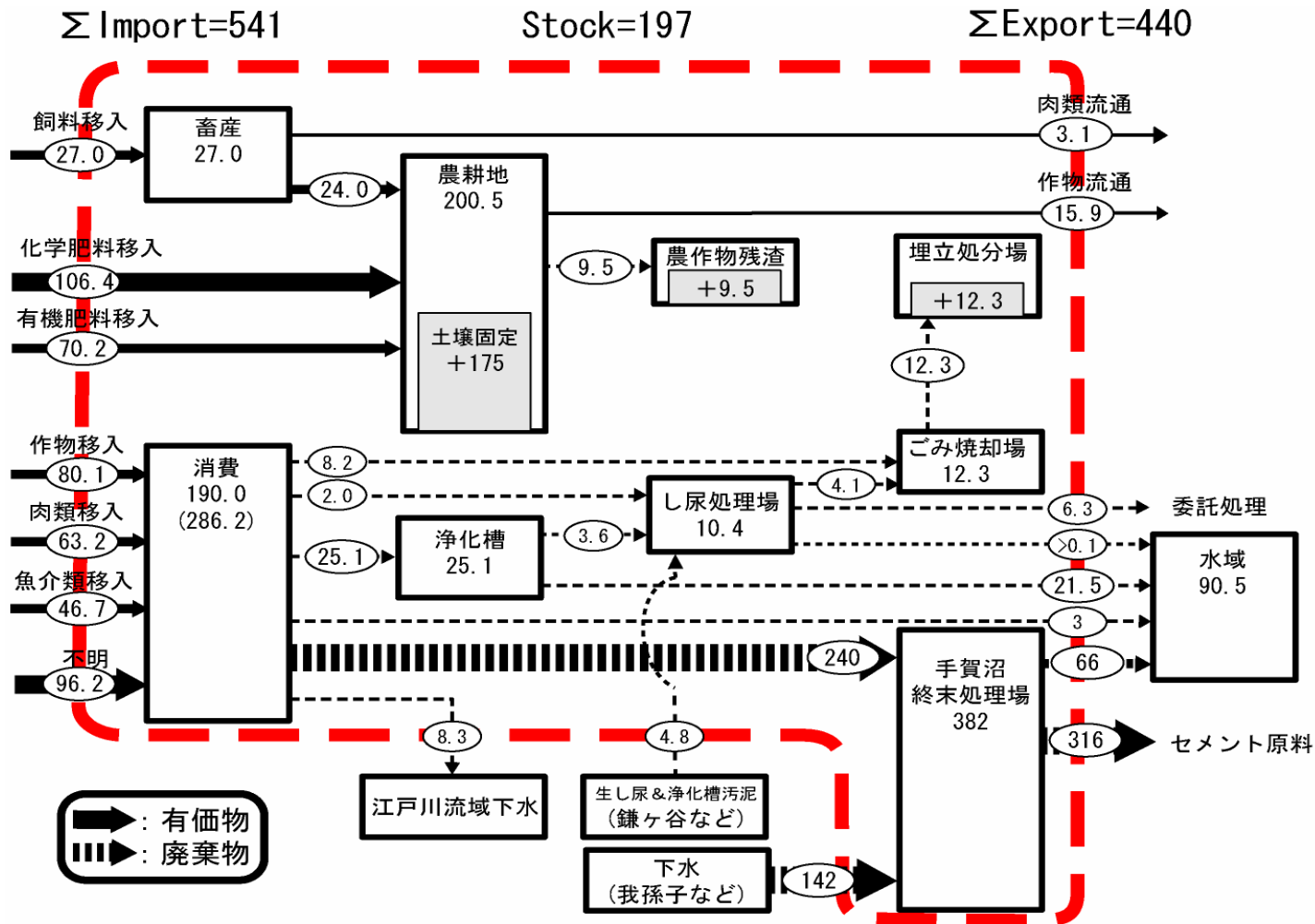


図5. 3-9 水域への排出

水域への流入はし尿処理場、浄化槽、手賀沼終末処分場のそれぞれの処理水と消費プロセスから生じる生活雑排水の4系統と設定した。

河川を移動する量については解析の対象外とした。



System Boundary "KASHIWA City, 2005"

図5. 3-10 柏市におけるMFAの結果

5.3.3 MFAの結果(図5.3-10)

- ・ システム全体のバランス

MFAの概念上、あるシステムにおいて、総移入量=ストック量+総移出量とならなければならない。しかし、今回の分析結果では、総移入量541tに対し、ストック量と総移出量の和は637tと100t近く増加している。これは、消費プロセスにおいて、移入量190tに対して移出量が286tと100t近く増加していることに起因している。

消費プロセスにおける移入量の190tは、人口一人当たりの消費量を約1.36g/dayとして計算した結果である。この数値は年間に消費された食品量(食料自給年次統)に各食品のリン含有量を日本食品標準成分表から求めて算出した。この他の一人当たりの消費量に関する数値としては、下水道計画においては一人当たりの排出量は1.2g/dayが用いられることが多く、また、国民健康栄養調査では1.02g/dayと報告されており、今回の試算で用いた値は、やや高めの数値であるといえる。

これに対し、排出フローの中で、手賀沼終末処分場への流出量が240tと算出されており、すでに消費量を超えている。手賀沼終末処理場への排出量は、実測のデータを基に以下の式で算出している。

終末処理場フロー=柏市利用水量/処理場処理水量×処理場流入水量×流入水中リン濃度

なお、柏市分利用水量は平成18年度版柏市下水道事業年報のデータを、また、処理場流入水量・流入水中リン濃度は平成18年度手賀沼流域下水道事業年報のデータを用いた。

この年間排出量240tを接続人口一人当たりの排出量に換算すると、2.2g/dayとなり、先に挙げた平均摂取量などの数値と大きく異なる。この要因としては、域内の食品加工場など生活排水以外からの流入負荷が主な原因であると考えられる。生活系からの排出量を1.36g/day/人として下水道への流入量を仮定すると、およそ130t/yearとなり、残りの110tが別の系統から流入していると考えられるが、工場等の排出水量に関するデータを得ることは出来なかった。このため、今回の結果ではこうしたギャップが生じたままで外部から不明のインプットがある記述した

- システム内部への移入

システムへの移入量は年間 541t であった。このうち主なフローは消費プロセスへのフローで 35%を占めた。また、農耕地プロセスへの投入は化学肥料と有機肥料を合わせて 33%であった。

- システム外部への移出

システム外部への排出量は年間 440t であった。主な排出フローは手賀沼終末処理場からのフローで排水と汚泥をあわせて 87%を占めた。製品として市場に搬出されるのは肉類と作物でその合計は年間 19t であった。これは域内で消費される量の 1 割程度である。また、消費に関連した廃棄物のフローが域外への搬出の 96%を占めるなど、地域の消費地的な性格が反映されていた。

- システム内部へのストック

システム内部へのストックは農耕地の土壌固定と農作物残渣、埋立処分場の 3 箇所が考えられた。このうち土壌固定が 89%を占めた。

- 廃棄物の有効利用

域内で有効利用されている廃棄物系のフローは畜産から農耕地への堆肥フローだけであった。消費からのフローでは、農耕地に還元される形で再利用されているものはなかった。しかし、手賀沼終末処理場からの汚泥は全量セメント原料という形で利用されていた。

- 水域への排出

水域への排出の中で最も割合が高いのは、手賀沼終末処理場からの処理水で 73%を占めた。なお、手賀沼終末処理場からの排水は利根川に排出されている。

また、浄化槽からの排出は 24%を占めた。これらの排出先は設置箇所がどの流域に属するのかによって変わる。四つの流域のうち、手賀沼の流域面積が最も広いが、浄化槽の設置状況で見ると利根川流域の地区に多いということであったが、詳細なデータを入手することは出来なかった。

5.4 対象地域の特徴とリン資源管理のポイント

5.3での解析結果を元に、柏のような都市的な地域におけるリン資源管理のポイントを考察した。

5.4.1 消費地的性格と排出経路

5.1でも記したように、柏市は首都圏近郊の都市的・消費地的性格を持った都市である。このことはシステム内への総移入量のうち消費へのフローが約5割を占めているなどMFAの結果にも反映されていた。

このような地域の性格は、特に廃棄物などのフローに現れており、システム外部への総移出量のうち消費関連の廃棄物フローが96%を占めるなど、消費に関連したフローの管理が資源管理上、最も重要であるといえる。

廃棄物関連のフローにおいて下水道は最も重要なプロセスであると考えられる。リンを排水から除去するという点では、全流入量中の8割以上のリンを汚泥として回収出来ており、また、水質汚濁が問題となっている手賀沼には排水を放流していないことを考えると、水環境の保全には大きな役割を果たしているといえる。一方で、リン資源の有効利用という点では、全量がセメント原料化されており全く活用されていなかった。このように現状のシステムでは、水環境の保全には一定の機能を有しているものの、資源の循環利用という側面から考えると、一方通行的な状況が顕著に現れているといえる。

5.4.2 下水道に含まれるリン資源の有効活用

対象としたシステムでは、下水道を通過するリンの量は、農耕地に投入する量の約2倍にもなる。これを農地還元することを考えた場合、大きく分けて二つの方法が考えられる。一つは堆肥化して利用する方法。もう一つが化学的な回収方法を適応して、化学肥料源として利用する方法である。これらの利用方法について需要サイドである農業と、供給源として競合する畜産業との関係を踏まえながら考察することとした。

- ・ 汚泥の堆肥化による利用

下水汚泥を堆肥化する際の問題として、作られた堆肥がどれくらい利用されるのかという問題がある。単に量的な問題としても、柏市で用いられている全肥料量の1.5倍近く、有機肥料の使用量の4倍以上の量が発生すると考えられる。仮に、我孫子市や白井市といった周辺の市町村との連携を考えても、畜産業から排出される堆肥などとの競合が起これると考えられる。

ここで、柏市周辺の堆肥需要を把握するため、第5章の坂東市のケースで行った、畜産業由来の堆肥の供給可能量と農耕地における堆肥需要のバランス解析を柏市の周辺地域に対しても行った(表6.4-1)。

表6. 5-1 畜産業由来の堆肥中リンの供給量と需要量の試算

	乳用牛		肉用牛		豚		採卵鶏		供給量 合計 (tP)	農耕地面積		P需要量			堆肥 需要 (tP)
	頭数 (頭)	P量 (tP)	頭数 (頭)	P量 (tP)	頭数 (頭)	P量 (tP)	羽数 (千羽)	P量 (tP)		田 (ha)	畑 (ha)	田 (tP)	畑 (tP)	合計 (tP)	
柏市	0	0.0	0	0.0	2,000	6.4	87	18.4	24.8	1,330	1,360	29	60	89	65
我孫子市	0	0.0	0	0.0	0	0.0	14	3.0	3.0	919	349	20	15	35	32
鎌ヶ谷市	130	2.1	100	0.6	0	0.0	0	0.0	2.7	1,100	1,300	24	57	81	78
印西市	80	1.3	0	0.0	0	0.0	44	9.3	10.6	976	562	21	25	46	35
白井市	80	1.3	252	1.5	3,750	11.9	16	3.4	18.1	317	722	7	32	38	20
合計	290	4.7	352	2.1	5,750	18.3	161.00	34.1	59.1	4,642	4,313	101	188	290	231

この試算結果から、地域内の畜産業から発生する堆肥が優先的に消費されると仮定しても、手賀沼流域下水道の処理区域内では231tの堆肥需要があることが明らかになった。しかし、下水汚泥の供給量可能量は316tで、全量堆肥化された場合には、全農家が堆肥によって標準施肥量の半分の肥料をまかなうと仮定しても、周辺地域だけで消費しきることが出来ないということがわかった。また、域内においても食品加工残渣など今回の結果には含まれていない堆肥原料が優先的に利用されるということも考えられる。これ以上範囲を広げた場合には、さらに別の流域下水道や畜産由来の堆肥との競合を考える必要があり、利用先の確保は難しいと考えられる。

下水汚泥を堆肥化するに当たっては、リンや窒素といった肥料成分の問題以上に、下水汚泥堆肥に対する「工場からの排水が流れているから重金属で汚染されているのではないか」とか「人間の排泄物を利用するなんて衛生的に問題なのではないか」といったイメージが問題となって利用が進まない場合が考えられる。実はこうした社会的なイメージの問題が下水汚泥の理由が進まない大きな理由の一つとして挙げられる。実際には利用上の問題はほとんどないとしても、このような社会的なイメージを払拭し安定した利用先を確保することは容易ではない。利用者の使いやすさに配慮した堆肥の生産を徹底し、安全であることを科学的に証明したうえで、徐々に状況を改善していく必要がある。しかし、今回対象としたような規模の大きな処理場の場合には、大量の汚泥堆肥が発生するため、広範な地域から多くの利用者を探してこななければならない、現実的には堆肥としての利用はかなり難しいといえる。

・ 化学的な回収による利用

研究背景などでも触れてきたように、下水からのリンの化学的な回収技術はある程度完成されてきている。下水から化学肥料として利用できるMAP(リン酸マグネシウムアンモニウム)などを安定的に回収することが可能となれば、域内での消費はもちろんの事、資源としての価値も高いことから市場に流通させるということも考えられる。

技術的な現状として、下水からの化学的な回収方法では全流入水中の 15%程度までの回収が可能であるとされる。仮に手賀沼終末処理場にこの技術が採用された場合、15%の回収率でもリン量にして年間 57t が回収可能となり、柏市で消費されている化学肥料の半分以上を供給することが可能と考えられ、流域下水道のスケールメリットを生かすことが出来ると考えられる。

また、大規模な流域下水道があるような都市型地域において、近隣に需要が見込まれないような場合でも、堆肥化に比べ移動や用途に関する制約が少なくなるため、市場を通じて広範に流通可能であると考えられる。

しかし、導入にかかる施設費用や、より一層の回収率の改善、また、税金を利用した施設によって製造された肥料を流通させることにともなう社会的な問題など、解決すべき課題は多い。しかし、都市・消費型の地域において、こうした技術を適応することは、リン資源の安定的な確保という面から一定の役割を果たすことが期待される。

5.4.3 水環境の保全と MFA

特定の閉鎖性水域などへの排出負荷を考える場合、流域単位でのデータ整理が非常に重要となると考えられる。このため GIS などによる流域単位での情報管理が必要であると考えられる。現状として手賀沼への主な排出源は、下水道未整備地域の浄化槽と考えられるが、浄化槽の設置状況の把握などに関しては情報が整備されておらず、正確な情報の把握が難しい状態であった。

GIS などの情報ツールと今回行ったような MFA を組み合わせて栄養塩類のフローを把握することが、流域の栄養塩類を適正に管理していくための方策を考える上で重要であると考えられる。

また、今回の結果から、下水道整備が進んだ地域においても、浄化槽由来の栄養塩類が水域へ与えている影響が大きいということが明らかになった。浄化槽というシステムは BOD を減少させるためには有効な手段であったが、栄養塩類を管理するには十分なシステムとはいえない。しかし、下水道で全域を整備することも自治体財政上困難である場合も多く、今後の技術開発が期待される部分である。

5.5 まとめ

坂東市と比較して、消費プロセスからのフローが多い消費・都市型の地域性を反映したMFAの結果を得ることができた。

柏市においては、域外への搬出の大部分を消費プロセスからの廃棄物が占めており、特に下水道や浄化槽といった排水処理システムの管理が、自然環境の保全と資源の有効活用という両面から重要であると考えられた。

流域下水道のような大規模な下水処理場の場合、堆肥化による農地還元は困難であり、下水からの化学的なリン回収技術が一定の役割を果たすことが出来ると考えられた。

水環境の保全のためには、流域単位でのデータ整備が不可欠であり、GISなどを用いた情報管理が期待される。また、浄化槽システムに変わる、より栄養塩類の管理・循環を意識した技術の開発が必要であると考えられた。

第6章 Case StudyⅢ ～神奈川県三浦市～

6.1 対象地域の選定

有機性廃棄物有効利用策が地域の栄養塩類循環に与える影響を考えるとという視点から、積極的に有機性廃棄物廃棄物に取り組もうとしている自治体について調査を行うこととした。そこで、バイオマスタウン構想に参加している「神奈川県三浦市」を最初の調査対象地域とすることとした。この計画の中で三浦市は、水産加工残渣、公共下水汚泥、浄化槽汚泥、農作物廃棄物など域内のこれまで利用されてこなかった大量の有機性廃棄物をメタン発酵に用い、その残渣も堆肥化して農地還元するというプランを立てている。

6.2 地域の概要(表6. 2-1)

表6. 2-1 三浦市の概要

人口・産業構造など										
地域面積(ha)	総人口(人)	一次産業(人)	二次産業(人)	三次産業(人)						
3,216	52,253	3,205	5,515	17,513						
農家数(戸)	専業農家(戸)	第1種兼業(戸)	第2種兼業(戸)	自給的農家(戸)						
935	454	317	139	25						

2)作物別作付け面積と収穫量										
	大根	キャベツ	すいか	かぼちゃ	ねぎ	みかん	ばれいしょ	トマト	ほうれん草	レタス
作付け面積	781	746	396	122	14	10	9	4	4	3
収穫量(t)	76,500	39,300	12,500	2,180	257	256	173	190	49	61

3)畜産農家戸数と飼養頭数					
	乳牛	肉牛	豚	採卵鶏	ブロイラー
戸	1	3	—	—	—
頭(千羽)	x	90	—	—	—

4)魚種別漁獲量										
魚種	かつお類	まぐろ類	さば類	さんま	いわし類	かじぎ類	するめいか	さめ類	あじ類	ぶり類
漁獲量(t)	9,101	9,027	4,489	1,308	1,240	975	787	540	471	215

6.2.1 地理と人口

・ 地理

東京から約 60 キロ、横浜から約 30 キロの首都圏最南端の市である。神奈川県三浦半島最南端に位置し、北は横須賀市に隣接し、東は東京湾、西は相模湾、南は城ヶ島から太平洋を望む地に位置する。

市域は南北が約 8 km、東西が約 4 km で市域面積は約 31.5km²の小さな市である。

・ 人口

人口は 50,410 人(平成 17 年 3 月 1 日現在)。平成 6 年の約 54,000 人をピークに現在は緩やかな減少傾向にある。

6.2.2 産業と地域経済

・ 漁業

三浦市は古くからマグロを中心とする遠洋漁業が盛んな都市であり、特定第三種漁港(利用範囲が全国的であり、かつ漁業の振興上特に重要であるとされる漁港)である県管轄の三崎漁港と5つの市営漁港を有する。かつて三崎漁港から水揚げされる「三崎マグロ」は全国一の生産量を誇り、三浦市は重要なマグロの遠洋漁業基地であった。

しかし、コールドチェーン化の流れに社会資本の整備が追いつかず、また、海洋資源の減少、魚価の低迷などの要因から漁業経済は低迷を続けている。

こうした状況を受け、三浦市は平成16年に地域再生計画の認定を受け、ゼロエミッション型漁港である三崎水産物流通加工業務団地の成立に向けた取り組みを開始している。バイオマスタウン構想への参加もこうした漁業の低迷が根底にはある。

・ 農業

三浦市の農業の歴史は古く、明治時代から「三浦大根」が東京市場に出荷されていたとされる。現在、「三浦大根」の生産自体は様々な理由によって大幅に縮小した。しかし、温暖な気候を生かした露地栽培は現在でも盛んであり、市域の46%を農地が占め、ダイコン、キャベツ、スイカなどの栽培が盛んに行われている。

農家数を見ると、販売農家数910戸、うち専業農家が454戸(いずれも平成12年農業センサスより)と専業農家の比率が全国値=21%(平成18年度農業構造動態調査結果より)と比較して高いことも特徴の一つである。一方で、毎年収穫時期に大量に発生する農作物残渣の処理に苦慮する農家があるなどの問題も抱えている。

・ 観光業

三浦市の観光は、三浦海岸(海水浴)・城ヶ島(景勝地)・油壺(水族館・景勝地)・三崎下町(グルメ・土産)などを中心として年間479万人(平成15年)の観光来遊客が訪れているが、その約半数が夏場に集中しており、9割が日帰り観光客である。また、その数は年々減少傾向にある。近年、観光客一人当たりの消費額も伸び悩んでいるため、街の観光地としての付加価値を高める様々な取り組みが行われている。

6.2.3 廃棄物管理

・ 生活系廃棄物

生活系廃棄物は一般ごみ・プラスチック製容器包装・ペットボトルなど 11 分別が指定されている。このうち再資源化にまわされるプラスチック容器包装等を除く一般ごみ・埋立ごみが自治体での処理の対象となる。

埋立ごみは三浦市域内の西岩堂最終処分場に埋立処分されている。

厨芥類を含みリフローに影響があると考えられる一般ごみに関しては、平成 3 年から平成 14 年までは、三浦市域内の「環境センター」にて高速堆肥化・減容固化された後、西岩堂最終処分場に埋立処分されていた。しかし、施設の老朽化が進んだところに、ごみ処理の広域化計画が持ち上がったこともあって、現在は横須賀市の焼却場に搬出している。

・ 下水道事業

三浦市では現在、公共下水道事業として三浦市東部浄化センターを中心とした東部処理区を整備中である。なお、西部地区に計画されていた西部処理区については市の財政事情などにより、平成 22 年までは事業着手しない方針がすでに固まっている。

平成 15 年の整備状況では、下水道普及率(処理区域内人口/行政区域内人口)が約 29%(14,912 人/51,387 人)、下水道水洗化人口率(下水道接続人口/処理区域内人口)が約 73%(10,887 人/14,912 人)となっている。下水道普及率及び下水道接続人口は共に増加傾向で、平成 17 年度には事業認可の下りた処理区域内人口 14,912 人のうち 8～9 割程度は下水道水洗化に移行するものと考えられる。

東部浄化センターでは標準活性汚泥法によって排水を処理しており、リンの除去能力としては、年間を平均するとおよそ 7 割のリンを汚泥として除去している。下水汚泥は以前まではコンポスト化されていたが、コスト問題などから、近年はセメント化に回される年が多くなっている。

・ その他生活排水処理対策

三浦市における汲取り・合併浄化槽・単独浄化槽利用人口はそれぞれ、約 7,800 人、約 10,800 人、約 22,000 人となっている。平成 11 年の東部浄化センターの稼働と平成 13 年の浄化槽法改正によって新規の単独浄化槽の設置が禁止されたことを受けて、今後は汲取り及び単独浄化槽利用者は徐々に減少し、下水道接続人口、及び合併浄化槽利用者が増えることが予想される。

生し尿及び浄化槽汚泥については、三浦市衛生センターにて高度処理されており、年間を平均すると 99%以上のリンが汚泥などとして除去されている。衛生センターの汚泥に関しては、脱水後、西岩堂最終処分場に埋立処分されている。なお、三浦市衛生センターは既存の施設に立て増す形で性能強化されてきた経緯があり、最も古い施設はすでに築 30 年以上経ち老朽化が進んだ状況である。

6.2.4 環境保全型農業への取り組み

三浦市は古くから農業が盛んな地であるが、その一方で、畜産・稲作がほとんど行われておらず、畜産廃棄物や籾殻といった堆肥原料が手に入りにくい土地でもある。そのためか堆肥の利用や食品の安全に対する関心は高く、環境保全型農業が盛んな地域としてもよく知られている。

堆肥の利用という点では、三浦市農業協同組合においてぼかし堆肥製造施設を整備したり、周辺地域の農家と共同で「三浦半島有機物再生利用組合」を通じて、共同で堆肥原料を確保したりしてきた歴史がある。

また、農薬の使用の抑制への取り組みでは、大根の品質に悪影響を与える土壌線虫防除のため、マリーゴールドの植栽を行うなどの取り組みがある。

こうした取り組みが評価され、平成7年には第一回環境保全型農業推進コンクール(JA 全中)において大賞が賞与されている。

6.2.5 バイオマスタウン構想

・ 構想の背景

三浦市がバイオマスタウン構想に取り組むにあたっては、背景にいくつかの行政課題をクリアできる構想とすることが必要とされている。以下にその代表的な5つの行政課題を挙げる。

①三崎漁港二町谷埋立地に形成を目指している三崎水産物流通加工業務団地への企業誘致促進ために、団地内で操業する業者が利用する電力を安価に供給すること。この背景には三崎漁港二町谷埋立地の用地価格が高いなどの理由から、団地への企業誘致が思うように進んでおらず、追加的な措置が必要となっていることなどがある。

②先述した用に西部地区の公共下水道計画(団地内の廃水処理システムとしても機能する予定であった)が平成22年まで事業着工されない方針となり、団地内の廃水処理システムが新たに必要となったこと。

③老朽化が進んだ衛生センターの更新が財政的に難しく、生し尿及び浄化槽汚泥の処理対策が必要とされていること。

④現状では、生活環境美化の観点から農地などに放置されている農作物残渣の処理方法が求められていること。

⑤東部公共下水道から発生する下水汚泥の市外搬出にかかる費用を軽減すること。

このような行政課題に対応するため、メタン発酵による発電により、域内から発生する農作物残渣や下水汚泥などの有機性廃棄物をエネルギー利用するというバイオマスタウン構想が計画された。

・ バイオマスの賦存量と利用の考え方

計画に先立って地域のバイオマス資源の不遜量に関する調査が行われている。以下がその調査結果をまとめたものである。

表5. 3-1 三浦市内バイオマス賦存量調査結果(三浦市バイオマスタウン構想資料より)

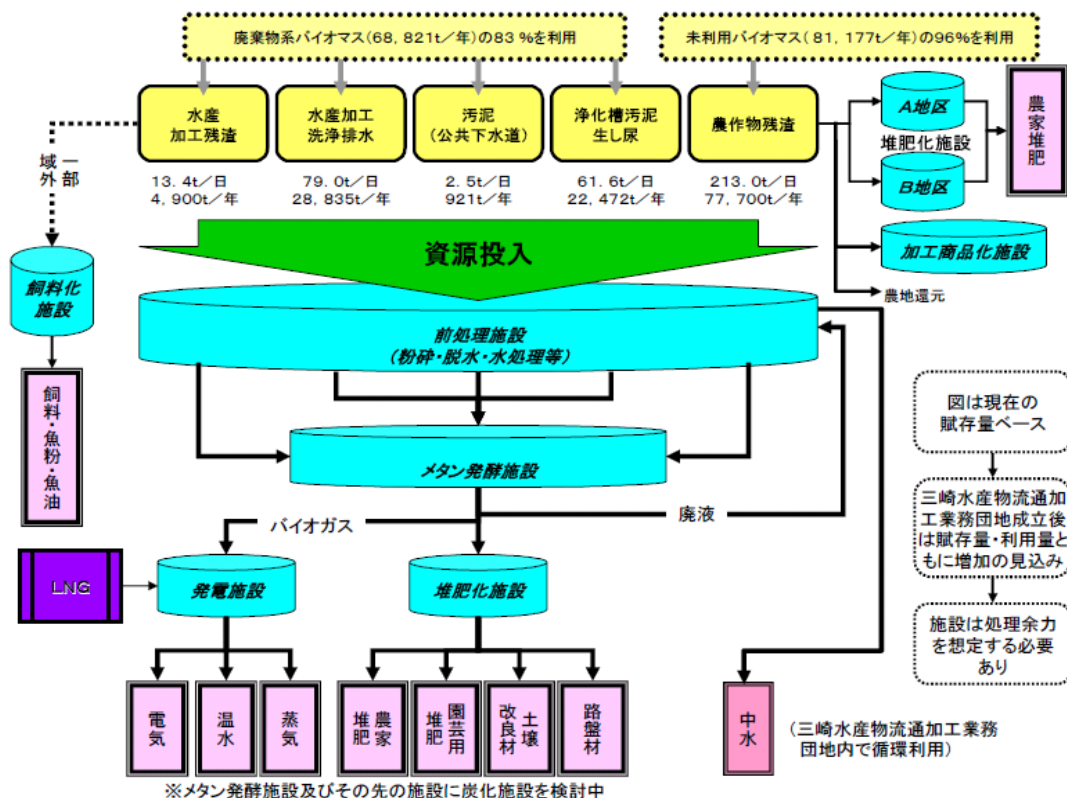
(平成15年度実績ベース)

バイオマス	賦存量	変換・処理方法	仕向量	利用・販売	利用率
(廃棄物系バイオマス)					
水産加工残渣	4,900t/年	飼料化(域外搬出)	4,900t/年	飼料・魚粉・魚油等	100%
污泥(公共下水道)	921t/年	工業原料化(市外搬出)	921t/年	セメント原料	100%
生し尿	7,270t/年	処理水放流・污泥埋立処分			0%
浄化槽污泥	15,202t/年	埋立処分			0%
水産加工洗浄排水	28,835t/年	処理水放流			0%
生ゴミ(一般ゴミ)	9,710t/年	埋立処分・一部堆肥化	140t/年	堆肥	1%
枝木・草葉類	1,983t/年	堆肥化	1,983t/年	堆肥	100%
(未利用バイオマス)					
農作物残渣	81,177t/年	農地還元	27,360t/年	農地還元	34%

(出所)三浦市

このうち、すでに堆肥化され有効利用が進んでいる枝木・草葉類、及び、4市1町の広域ごみ処理体制で処理の方針が固まっている生ゴミ(一般ごみ)に関してはバイオマスタウン構想の対象物からは除外された。

また、農作物残渣に関しては、時期によって発生量に大きな変動が生じることから、メタン発酵に用いられるのは安定して供給が可能と考えられる日量あたり40tとされ、残りの8割以上に関しては加工商品化や簡易の堆肥化施設による堆肥化を目指すとされている。以下の図がその利用のイメージである。



(出所)三浦市

図6. 3-1 三浦市バイオマスタウン構想におけるバイオマス利用システムのイメージ
(三浦市バイオマスタウン構想資料より)

・ 施設計画

バイオマスタウン構想は主に以下の5つの事業から構成されている(図6. 3-2)。

①資源循環型エネルギーセンター

水処理・破碎等の前処理施設、メタン発酵施設、発電施設、堆肥化施設を含むバイオマスタウン構想の中核となる施設群。

②三崎水産物流通加工業務団地(中水利用システム)

資源循環型エネルギーセンターから発生する中水が団地内にて利用される。

③農産・水産加工商品化施設

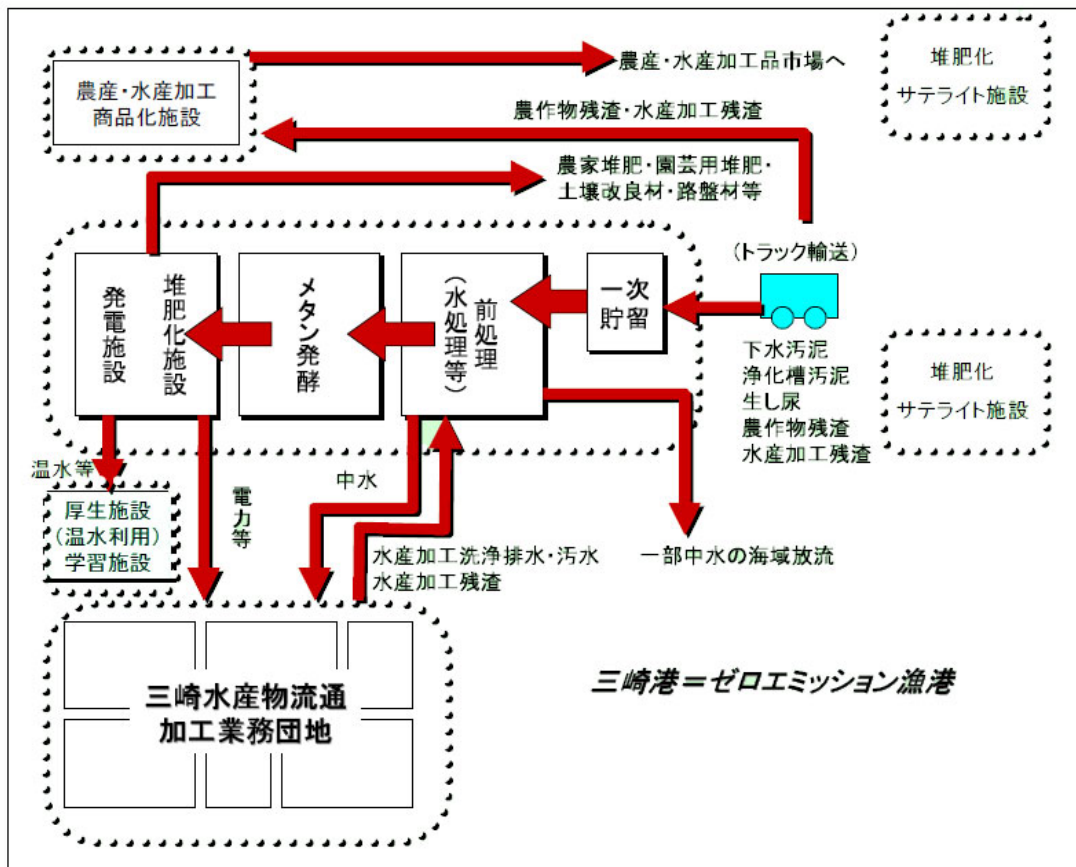
農作物・水産加工残渣からの2次加工製品の開発製造施設。

④堆肥化サテライト施設

資源循環型エネルギーセンターに搬入せず、農地周辺で堆肥化を勧める施設として市内に数箇所の対比かサテライト施設を整備。

⑤厚生施設・環境学習施設

資源循環型エネルギーセンターから排出される余剰の温水等を利用した厚生施設と、水産加工と環境に関する学習施設。



※位置関係はあくまでもイメージである

図6. 3-2 三浦市バイオマスタウン構想全体像(三浦市バイオマスタウン構想資料より)

6.3 リンフローの解析

6.3.1 システムの構成プロセス

システムの構成は、文献・ヒアリングなどから、生産部門の3プロセス(農耕地、畜産業、魚介類加工)、家庭等における消費部門の1プロセス(消費)、廃棄物処理部門の5プロセス(農作物残渣、公共下水道、浄化槽、し尿処理場、埋立処分場)の計9つのプロセスを設定した。バイオマス利活用後のシステムでは、し尿処理場をなくし、メタン発酵&堆肥化プロセスを追加した。

なお、各種製品の市場における流過程はシステムの構成要素から除外した。よって、域内で生産された製品は一端「市場」というシステム外部のプロセスを経た後、消費プロセスのフローとして再び域内に搬入されると想定した。

6.3.2 プロセス間の各種フローと移動量の決定

- ・ 農耕地(図6.3-1)

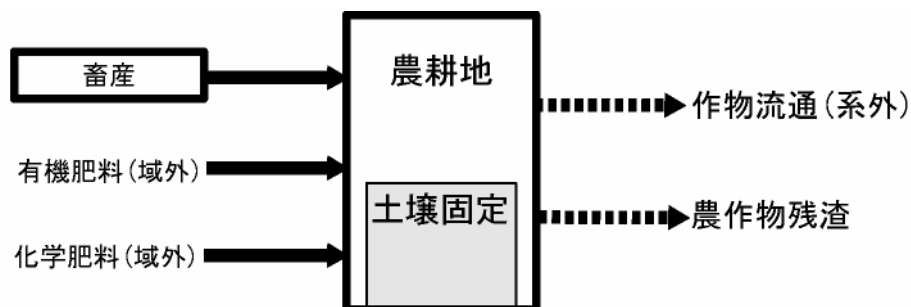


図6.3-1 農耕地プロセス(移入フロー×3、移出フロー×2)

農耕地には肥料として域内の畜産プロセスから発生した堆肥と、域外から搬入される有機肥料、域外から半有される化学肥料の3系統が投入されるとした。プロセスからの搬出は、作物の市場への出荷と、農作物の残渣の2系統とした。算出方法は坂東市と同様に行った。

- ・ 畜産業(図6.3-2)



図6.3-2 畜産プロセス(移入フロー×1、移出フロー×2)

畜産プロセスへの投入は飼料投入の1系統とした。プロセスからの移出は肉類の出荷、及び家畜排泄物(ふん・尿合算)の2系統とした。生産される肉類は全て市場に流通するとし、家畜排泄物はすべて農耕地に投入されると仮定した。算出は坂東市と同様に行った。

- ・ 漁獲・魚介類加工(図6.3-3)

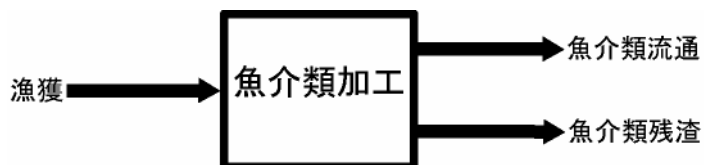


図6.3-3 魚介類加工プロセス(移入フロー×1、移出フロー×2)

魚介類加工プロセスへの移入は漁獲による1系統、移出は魚介類の市場への流通と、魚介類残渣の2系統を設定した。漁獲による移入は、各魚種の漁獲量に、可食部リン含量をかけて算出した。魚介類の加工残渣は残渣の発生量に各魚種の漁獲量割合をかけたものに可食部リン含量をかけて求めた。魚介類の流通量は漁獲量と残渣の差分によって求めた。

- 消費(図6. 3-4)

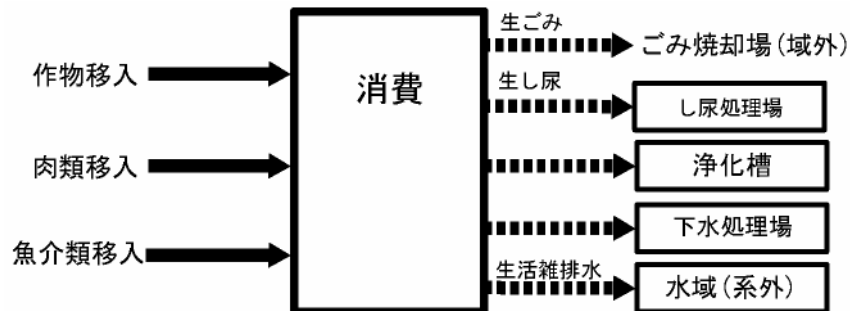


図6. 3-4 消費プロセス(移入フロー×3、移出フロー×5)

消費プロセスへの移入は食品の摂取によって消費される、作物、肉類、魚介類の3系統とした。リンは洗剤に利用されることもあるが、現在では一部の業務用洗剤を除いて、無リン化が完了していることから、洗剤への移入は対象外とした。排出フローは系内の別プロセスへの3系統(し尿処理場、浄化槽、下水処理場)と域外への生ごみの搬出、および水域への排出の2系統の合計5系統を設定した。

- 農作物残渣
農耕地プロセスにて算出した。

- 公共下水道(図6. 3-5)

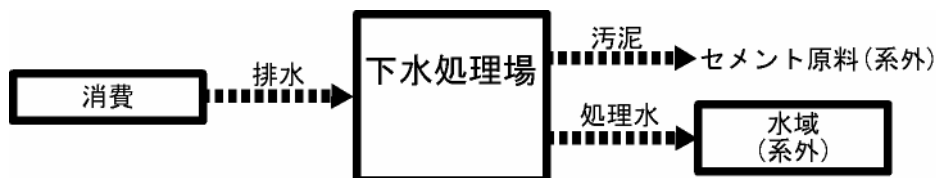


図6. 3-5 下水処理場プロセス(移入フロー×1、移出フロー×2)

下水処理場への移入は消費プロセスからの排水の流入の1系統とした、移出はセメント原料として域外に排出される汚泥と、水域に排出される処理水の2系統を設定した。

- 浄化槽(図6. 3-6)

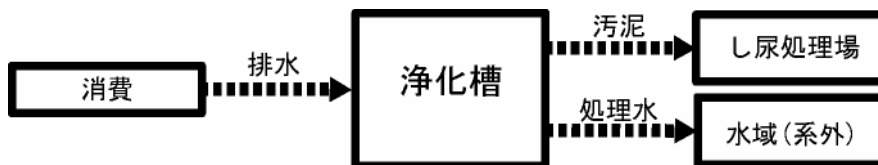


図6. 3-6 浄化槽プロセス(移入フロー×1、移出フロー×2)

浄化槽には合併浄化槽と単独浄化槽があるが、それらを一括して浄化槽プロセスとした、浄化槽プロセスへの移入は消費プロセスからの1系統とし移出は、汚泥と処理水の2系統とした。

- ・ し尿処理場(図6. 3-7)

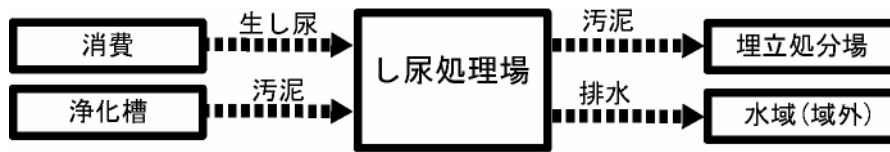


図6. 3-7 し尿処理場プロセス(移入フロー×2、移出フロー×2)

し尿処理場への移入は消費からの生し尿と、浄化槽からの汚泥の2系統、移出は域内の埋立処分場へ搬出される汚泥と水域に排出される処理水の2系統とした。

- ・ 埋立処分場(図6. 3-8)

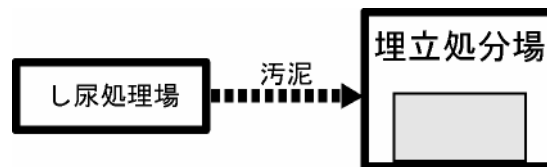


図6. 3-8 埋立処分場プロセス(移入フロー×1、ストック×1)

埋立処分場への移入はし尿処理場からの汚泥の1系統とした。埋立処分場に搬入されたリンは全て埋立処分場内にストックされると設定した。

- ・ メタン発酵&堆肥化(図6. 3-9)

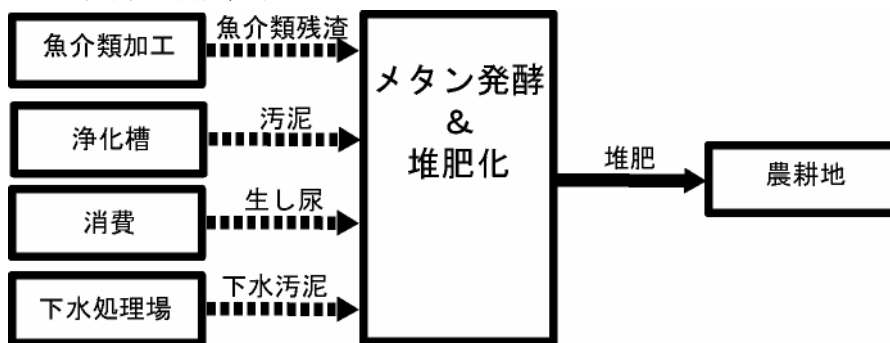


図6. 3-9 メタン発酵&堆肥化プロセス(移入フロー×4、移出フロー×1)

メタン発酵&堆肥化プロセスへの移入は魚介類加工からの魚介類残渣、浄化槽からの汚泥、消費からの生し尿、下水処理場からの下水汚泥の4系統とした。移出は堆肥の1系統とし全て域内の農地に還元されると仮定した。

6.3.3 MFAの結果(図6.3-10)

- ・ システム内部への移入

三浦市への移入は年間 327t で、主な移入フローは漁獲(31%)、化学肥料(31%)、有機肥料(27%)であった。消費プロセスへの移入は約 10%であった。

- ・ システム外部への移出

域外への移出は年間 158.5t で、そのうち約 75%が製品として市場に流通する魚介類・農作物であった。製品の移出量は域内での消費量に対して 3 倍以上の量であった。

- ・ システム内部へのストック

移入総量に対して 5 割以上がシステム内へストックされており、そのうち農地への土壌固定が 87%を占めていた。

- ・ 廃棄物の有効利用

廃棄物系のフローでは、主要産業である漁業・農業に伴って排出される魚介類残渣や農作物残渣が、まとまった量の資源として存在することが分かった。

消費プロセスからの排出フローでは、浄化槽プロセスの重要度が高く、浄化槽処理水は水域への排出負荷の主な要因であった。

域内で有効活用されている廃棄物は畜産廃棄物のみであった。

魚介類の加工残渣は域内では有効利用されていなかったが、域外で飼料や肥料原料として利用されていた。

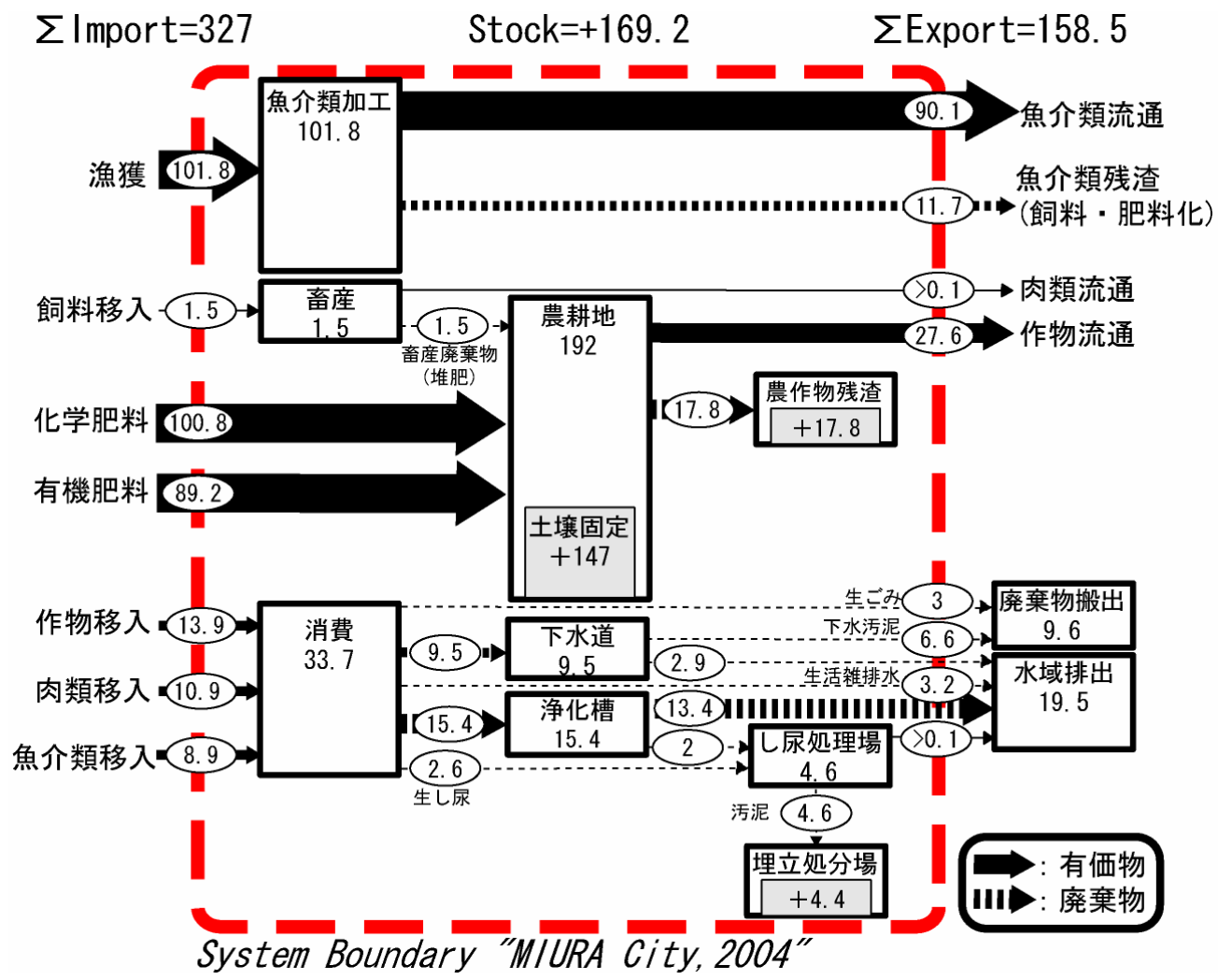


図6. 3-10 三浦市におけるリンのマテリアルフロー

6.4 バイオスタウン構想のリンフローへの影響評価

バイオスタウン構想後の想定されるリフローを図6.4-1に示した。

バイオスタウン構想の中で利用対象となっている下水汚泥、浄化槽汚泥、生し尿、魚介類残渣のリン含有量の合計値は22.9tで、魚介類残渣が51%、下水汚泥が29%を占めた。これは農地に投入される有機肥料の約25%であった。

また、農作物残渣の有効利用も検討されており、これらを合わせると有機肥料の45%近くを域内の資源で供給可能なことが明らかになった。しかし、域内の有機性の資源は限られており、さらに外部から堆肥などを確保する必要があることが分かった。

バイオスタウン構想によって製造される堆肥に関して、量的には三浦市域内で消費される有機性肥料の約半分の量のリン資源が供給出来る可能性が明らかになった。これまでの環境保全型の農業への取り組みなどから考えても、堆肥を安定した質と量で供給できれば域内で有効に活用できると考えられる。ただし、下水汚泥などが利用されることに対する社会的なイメージの改善などに取り組んでいく必要があると考えられる。

6.5 まとめ

生産量が消費量の3倍近いなど、地域の生産地としての能力を反映したMFAの結果を得ることができた。

地域の産業構造を反映したリン資源として、魚介類の加工残渣や農作物残渣が存在していることが分かった。

三浦市では、有機性廃棄物の有効利用によって有機肥料の4割以上を供給できる可能性があることがわかった。

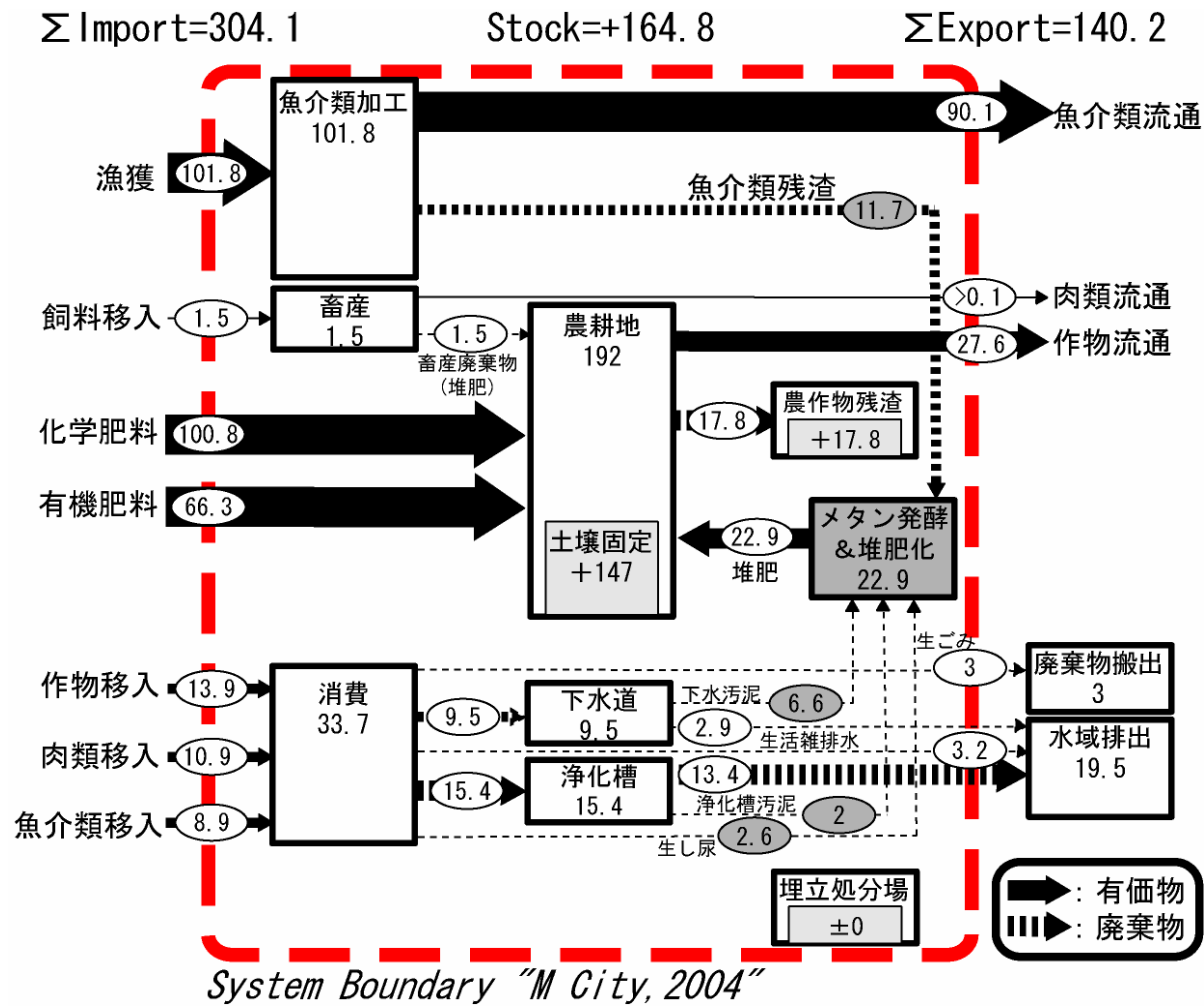


図6. 4-1 バイオマスタウン構想後のリンフロー

第7章 リン循環の地域特性と資源管理の戦略

これまでケーススタディごとに MFA の解析結果とそれぞれの地域の特色の把握、およびリン資源の適正管理における重要なポイントを考察してきた。ここでは、周辺地域との連携の必要性や、化学的回収技術による市場への流通可能性、未利用資源のリン供給ポテンシャルなどが明らかにされた。

ここでは、ケーススタディから得られた情報を元に、より一般的な議論として、地域特性を把握するための要素と、適正な資源管理を行うための情報の整理を行った。さらに今後の社会の展望まで含め、ここで示される情報を活用することによって、農業、畜産業、自治体といった各主体が連携して適正な資源管理に向けて取り組んでいくための基礎的な情報を整理した。

7.1 リンフローの地域特性の分析

ここではこれまでの調査結果を比較しながら、地域のリン資源を適正に管理していくために、どのような項目を検討していくべきか、また、MFA の結果から明らかになる量的議論をどのように資源管理に生かしていくのかをまとめた。

7.1.1 地域のリンフローバランス

今回行った MFA のケーススタディでは、産業形態などに特徴が見られる3つの地域において MFA を行い、それぞれから特徴的リンフローの解析結果を得ることができた。この情報から、リンの資源管理を考える上で重要な地域の特徴を、産業やプロセス間のリンフローのバランスから抽出した。

- ・ 地域の生産能力(生産型と消費型)

今回の MFA では生産部門のプロセスと、消費部門のプロセスを、「市場」というシステム外部のプロセスがつなげると仮定したことによって、生産と消費をほぼ完全に分離して考えている。実際、生産された農作物や肉類は「市場」によって遠方まで流通しているケースが多いことから、現地で作られた農作物が優先的に域内で消費されるという仮定をおくよりは、現実的な見方をしていると考えた。

このことによって、対象地域において、生産型の地域なのか、消費型の地域なのかの分

類が容易に推定でき、生産能力を定量的に評価することが可能となる。

消費プロセスへの移入量に対する市場に流通させた製品の量の割合を見てみると、坂東市では3.0、三浦市では3.5、柏市では、消費プロセスの不明分を除いた190tで除した場合には0.1、不明分を入れた286tで除した場合には0.07となる。このように消費地である柏市と生産地である三浦市、坂東市には数値に明確な差があることが分かった。

消費プロセスを通過したリンは、浄化槽や下水などの処理プロセスに排出され、そのほとんどが有効利用されないまま廃棄されている。汚泥などが有効利用されている場合でもセメント化が多く、リンの循環利用にはいたっていない。消費型の地域には、生産型の地域からのリン資源が食物に含まれて集まっていると考えられ、これを農地に還元し循環利用することは、枯渇資源であるリン資源の管理上、非常に重要であるといえる。

しかし、柏のケーススタディから分かるように、都市の規模が大きくなるほど、それに伴って消費プロセスから排出されるリンの量は多くなる。一方で、農業サイドの需要は減少すると考えられる。また、下水汚泥の有効利用に際して社会的な障壁が生じる可能性も高い。こうした問題を解決するためには、市場価値の高い形で回収・利用することが重要になると考えられた。

生産型の地域におけるリン資源管理のポイントは、生産部門のプロセスのバランスによって異なってくることが考えられる。これは次の畜産業と耕種農業のバランスで述べる。

- ・ 畜産業と耕種農業(堆肥需要の域内バランス)

畜産業と耕種農業の間のバランスを考えることは、リン資源の適正管理を考える上で最も重要な要素の一つである。畜産プロセスから排出される廃棄物はその適正管理が法律において定められるなど、環境負荷の面からその管理が重要視されているが、その一方で、耕種農家にとっては堆肥源として重宝されているからである。

こうした畜産業と耕種農業間の連携は、耕種農家が化学肥料に頼った農業を行うようになり、また、畜産農家が輸入飼料に頼るようになったことによって、一時的には分断されていた。しかし、耕種農家の土作りや環境保全型農業への意識の高まりや、畜産農家の排泄物処理への対応などを受けてその連携の再構築が課題となっている。

柏市においては、畜産業からの堆肥の供給量は、農地への全投入量に対して、13%程度であると考えられた。柏市の畜産農家から発生する堆肥は、近隣地域の耕種農家や果樹農家に利用されており、域内で有効利用が進んでいると考えられた。しかしながら、畜産業者からは安定的な利用者の確保などに苦勞しているという声も聞かれ、耕種農家と畜産農家の連携体制が十分に整っていないことが、こうした状況の原因になっているのではないかと考えられた。

一方、畜産業が盛んな坂東市においては、農耕地への投入量に対して供給量が107%となるなど、堆肥の供給過剰の現状が定量的に明らかになった。このような供給過剰な状態の解消法として、近隣地域との連携が必要であると考えられた。

坂東市のような供給過剰の状態がある一方で、三浦市においては、畜産業がほとんど営まれておらず、域内の畜産業から供給される堆肥の量は農耕地への投入量の1%にも満たないことが明らかになった。このことを反映して、三浦市の農家では安定的な堆肥原料の確保が常に課題となっていた。しかしながら、バイオマスタウン構想が実施された場合には、域内に存在する未利用資源を有効活用することによって、堆肥需要量の25～45%程度を供給できる可能性があることが明らかになった。

- ・ 近隣地域との間の需給バランス

MFAの結果から、堆肥の需給量について定量的に議論することが可能となる。このことによって大量に発生する堆肥を、供給過剰とならないように適切に農地に投入するための連携体制の枠組みを決めることが出来る。

坂東市の例では、供給過剰な堆肥を近隣地域と連携して有効利用しようとしている。しかし、今回の結果からは、現在対象としている枠組みでは、需要が少ないことが考えられた。しかしながら、枠組みには入っていないが隣接する他の自治体と連携することによって、より適切に需給バランスの偏りを解消できると考えられた。

堆肥の利用に際して、耕種農家と畜産農家は個人的なレベルで結びついている場合が多い。このため、有効利用の範囲を広げようと考えた場合には、自治体や農協が率先して耕種農家と畜産農家を結びつけることが重要になってくると考えられる。

三浦市の例では、域内での供給量のごくわずかであることに加え、近隣にも供給源としての機能を持ちうる地域が存在しないことが明らかになった。このような場合、①バイオマスタウン構想のように域内の資源を有効活用する、②堆肥の広域的な流通システムをつくる、③今回の MFA の中で対象としていない食品加工など流通・加工工程における有機性廃棄物を利用する、などの対応が考えられる。現に三浦市では工場から発生する茶かすを堆肥原料として用いている。

このように同じ生産的地域でも、農業主体の地域と畜産主体の地域では資源管理のポイントが大きく異なる。このため、①消費と生産のバランス、②畜産と耕種のバランス、③周辺地域とのバランスの三つのバランスを考えた上で、地域の資源管理を進めていく必要がある事と考えられた。

7.1.2 各種資源の利用可能性

地域によって存在する資源は大きく異なり、その利用方法や用途も異なる。今回の調査から得られた情報を元にその利用可能性を評価し、どのような資源から消費されていくのかをまとめた。

- ・ 農作物残渣

リン資源としてまとまった量が発生するが、多くは農地にすきこまれている。一部連作障害をもたらすものもあり、残渣の処理が困難な場合もある。発生源がはっきりしているため、利用に際しての問題は少ないが、発生量の時期的な変動が大いため大規模な施設での利用には向かない。

- ・ 家畜ふん尿

規模の大きな畜産農家が地域にある場合、まとまった量が集中的に排出される場合がある。畜産農家にて堆肥化され、耕種農家に販売されるケースが多いが、農家同士の個人的なつながりによって利用されている場合が多い。環境保全型農業への関心の高まりなどから耕種農家への需要が見込まれる一方で、畜産業が集約化によって発生源が一極集中している傾向があり、坂東市のように供給過剰となる地域も多い。

- ・ 魚介類残渣

漁港や魚市場を持つ地域においてはまとまった資源となる。質・量ともに安定して排出される上、排出源がはっきりしているため、試料や肥料の原料として有償で引き取られて

いるケースもある。

- 生ごみ

有機性廃棄物の有効利用というと生ごみの利用が持ち上がることが多いが、リンフローに占める生ごみの割合はいずれの地域でも小さく、リン資源の管理という点からの重要度は低い。

三浦市では一般ごみから生ごみを自動的に分離して堆肥化するという処理を行っていたこともあったが、異物の混入などの問題が多かった。このように、生ごみを有効利用するためには多くの人の協力を必要とするため、質的な安定が大きな課題となる。

- 生し尿・浄化槽汚泥

現在、どの地域においても、衛生センターなどで処理されていた。二つをまとめるまとまった量の資源となりうる。衛生センターの汚泥は堆肥化している地域もあったが、近年セメント化される割合が増加している。質的・量的な安定性は高いが、農業利用する際にはイメージなど社会的な部分にどう対処するかが問題となる。

また、浄化増に関しては農村地域などでは利用者が多く、フローの量も多い一方で、リンの除去に関してはほとんど効果が無いため、水域へのリン負荷の主な原因となっている場合がある。

消費プロセスから排出されるリンの管理という点では、検討の余地がある部分であると考えられる。

- 下水汚泥

調査地域から排出される下水汚泥はすべてセメント原料とされていた。こうした流れは全国的に広がっている。山形市などでは堆肥として利用されているが、利用先の確保が一番の課題であったなど、し尿などと同じく社会的な部分に対処していく必要がある。

柏のケーススタディで見られたように、下水には家庭以外からの接続も多くあると考えられる。このように工場など不特定多数が利用するシステムである下水道は、家畜ふん尿の利用のように、個人的なつながりで利用されることが多い堆肥での流通には馴染まない部分があるといえる。

- その他食品加工残渣など

今回の調査ではこうした流通・加工の段階はシステムから除外していたため、発生状況などは把握していない。近年、農林水産省が行った調査(農林水産省,2003)によると、発生量のうち49%が飼料や肥料の原料として再利用されている。こうした工業系のフローの把握も資源を効率的に管理するうえで重要であると考えられる。

このように特にリンフローにかかわりがあると考えられる有機性廃棄物をみると、生産や流通・加工に伴って発生する廃棄物は比較的有効利用が進んでいると考えられる。これは、消費プロセスから排出されるものと比べ、質的・量的に安定しており、排出源も分かりやすいことなどが要因として挙げられる。

消費プロセスからの排出分に関しては、下水汚泥をはじめ有効利用が進んでいない。こうした状況は、ヒトの排泄物を利用することへの心理的な壁が存在することと、不特定多数が接続する下水道のようなシステムでは排出源の特定できず、安心・安全を意識する農家ほど利用しづらいシステムになっていることが一因といえる。浄化槽など個別分散型システムは下水道のこうした面を緩和できるが、リンの資源管理という面では、水域への排出源となるなど問題が多く儀式的な改善が必要となる。

リン資源の管理という点からは、まず、産業系の廃棄物の発生状況や分布状況を把握し、周辺地域における有効利用を促進することが重要である。

また、消費系からの排出プロセスでは、浄化槽など個別分散型に関しては、より栄養塩類の除去・回収といった側面に重点をおいたシステムへの移行が必要となる。下水道など不特定多数が利用するシステムでは、化学的な回収など、より市場価値の高いかたちで回収することは流通上のメリットの他、下水汚泥に対する社会的な不信感を切り離すことが出来る利点があると考えられる。

7.2 社会の変動とリンフローに及ぼす影響

7.2.1 肥料需要のあり方

今後の農業のあり方が肥料需要に与える影響は大きい。有機農作物に代表される有機肥料を積極的に用いて行う農業では、有機性廃棄物などが積極的に利用され循環利用される可能性があり、植物工場のような大規模施設栽培のような場合には、土壌固定を抜本的になくすことによって施肥効率の大幅な改善が考えられる。今後の見通しを立てる上で、こうした流れを整理しておく必要があると考えられる。

- ・ 環境保全型農業

環境保全型の農業の推進はリン資源管理の上で重要な要素である。需給バランスの分析に当たって、窒素量にして化学肥料投入量を半分削減という、特別栽培農作物の認定基準

を参考としたように、施肥に関しての具体的な制限がかかるからである。

実質的な制限を受ける登録制度は、特別栽培農作物と有機農作物の二つの登録制度があり、特別栽培農作物では“化学窒素施肥量を2分の1”にしなければならず、有機農作物では“原則として化学的に合成された肥料を使用しない”という制限を受ける。

しかし、どちらの制度も有機肥料や堆肥の施用についての厳密な制限が設けられていないことや、リンの施肥に関してはどちらも規定がなく、有機農作物においては天然リン鉱石は“使用が可能な資材”として扱われるなど、必ずしも施肥使用量が削減されるとは限らない。ただ、長年リン肥料を投入してきた圃場ではすでにリンの施肥効率は上限に達し、化学肥料の投入を減らした方が単収が上がる場合もあることが指摘されており(西尾,2003)、窒素と同様に、今後は施肥量が減らされる方向にあると考えられる。

・ 植物工場

植物工場とは「環境制御や自動化などハイテクを使用した植物の周年生産システム」と定義される。施設内の温度、光、炭酸ガス、培養液などの環境条件を最適化させる自動制御装置と、播種、移植、収穫、出荷調整などの作業固定の自動化とを組み合わせ、植物を天候に左右されずに省力的にかつ、安定的に生産するシステムであり、高度に機械化された施設栽培の一つと位置付けることが出来る(農林水産省農林水産技術会議,2005)。

光の制御などに話題が行きがちではあるが、こうした栽培法方が一般的になると、栄養塩類の供給システムも大きく変化する可能性がある。

植物工場では、培養液の循環利用が養水分の供給技術の中で課題とされてきた。しかし、近年、濾過膜による処理や UV 殺菌技術、過熱殺菌技術が実用段階に入り、培養液の循環利用が可能になったことによって、施肥効率が劇的に改善された。投入された肥料成分は、製品として植物に吸収されるまで工場内で循環利用される。そのため、100%とはいかないまでもそれに近い施肥効率を得ることが出来ると考えられる。既存の農法が投入肥料の1割程度しか回収できないのと比べるとその効率の高さが分かる。

しかしながら、このような培養液を用いて栽培を行うためには、水溶性の成分としてリンが供給される必要がある。こうした肥料源は、有機物の有効利用といったシステムとは全く異なるシステムから確保されなくてはならない。

そのような点からは、下水からの化学的な回収技術などはこうしたシステムと結びつけることによって、既存の農業のあり方とは異なる、新しい循環型のシステムとなる可能性を持っているといえる。

7.2.2 肥料供給のあり方

本論分の背景でも述べてきたように、リン鉱石は枯渇資源として考えられており、今後、埋蔵量の減少や質の低下に伴って価格が高騰する可能性がある。こうした場合に、国内にある資源をどう活用するかということが課題となり、先に述べた、需要側の変動とリンクしながら供給方法も変動しなければならない。有機農法と関連しては有機性廃棄物の有効利用が、また、植物工場と関連しては、下水や畜産排水からのリンの化学的な回収方法などが肥料供給のあり方として考えられる。

- ・ 有機性廃棄物のリサイクル

坂東市の事例で見てきたように、都市からやや離れた地域においては、畜産業と耕種農家の連携によって、環境保全型の農業が推進される可能性が高いと考えられる。畜産業はすでに大規模化が進んでおり、一定の生産能力を維持し続けると考えられる。そのため、畜産業と耕種農家が連携して有機物リサイクルを行っていくことは、畜産業から排出される大量の堆肥の利用という点からも重要であるといえる。

また、三浦市の事例で見てきたように、有機性廃棄物のリサイクルが地域のリンフローに与える影響は大きい。地域の資源の有効活用に加えて、浄化槽など生活系の分散型システムに対して、コンポスト化して回収できるような社会的なシステムを整えば、有機性廃棄物の有効利用によって栄養塩類が循環利用されるような構造が出来る可能性もある。

- ・ 下水などからの化学的な回収

柏市の事例で見たように、下水に含まれるリンは汚泥としては利用可能性が低いと考えられるが、化学的な回収方法の適応によって、大規模な下水処理場の場合には、周辺地域のリンフローに大きな影響があると考えられる。特に、リン鉱石と同様の化学肥料成分として回収できる場合には、化学肥料に置き換わる資源としての可能性が十分に考えられる。

また、こうした技術はかなりの高純度でリンを回収できることが知られており、先にあげた植物工場などと結びつきを強めることで、下水中のリン資源を多く持つ都市近郊において、新しい農業のスタイルとなりうる可能性がある。

7.3 地域の類型化と管理への課題

今回の MFA の結果から地域を 3つのパターンに類型化できるのではないかと考えた。

①消費地的性格を持った地域

この地域においては、消費に関連したフローの適切な管理が最も重要な課題となる。特に下水道や浄化槽に関連したフローからの資源回収が大きな意味を持つ。その際には、域内で消費され排出される量に対して、需要が少ないことや、利用に際しての社会的な障壁が考えられるなどの問題があるため、市場での流通まで視野に入れた、高付加価値となる方法によって回収することが望ましいと考えられる。

消費地に対して、生産地ではさらに二つのタイプに分けられる。すなわち、堆肥供給型と堆肥需要型の地域である。

②堆肥供給型生産地域

域内に大規模な畜産農家を持つ場合などは、その堆肥を利用するために、近隣地域まで含めた耕種農家との連携が不可欠になってくる。この際、耕地面積と畜産業の割合から、周辺のどの地域に需要が見込まれるかはある程度検討がつけられる。周辺でも全体として供給過剰な場合は、さらに枠組みを広げた流通体制の構築が必要となる可能性もある。

③堆肥需要方生産地域

堆肥需要型の地域では、域内の未利用資源の活用と、周辺からの堆肥原料の確保、および環境保全型農業への取り組みを推進していく必要がある。周辺地域に適当な堆肥供給型の地域がない場合には、食品加工業など安定した質の有機性廃棄物が発生するような産業を周辺で探す必要がある。なお、こういった産業部門との連携という意味では今回の MFA は不十分な点が多く、産業部門における栄養塩類のフローを把握する必要がある。

表 7. 1 - 1 地域の類型化と管理への課題

地域の類型	生産地		消費地
	堆肥供給型	堆肥需要型	
資源管理のポイント	耕種農家と畜産農家の連携 周辺地域との連携 堆肥の流通システムの構築	域内の未利用資源の活用 周辺地域との連携	消費系フローの適正管理 資源の流通可能性を高める 下水からの化学的な回収
今後の展望	有機栽培などの環境保全型農業の推進		植物工場との連携

7.4 リン資源の適正管理に向けた MFA

このように、市町村レベルでの MFA を行うことによって、リン資源の適正管理に向けて、地域を類型化することができ、地域の性格に応じた取り組みのあり方が明らかになることを論じてきた。

こうした一般的な情報に加えて、市町村レベルでこうした分析を行うことによって、特定の水域への排出負荷や、地域に存在する資源、周辺地域との需給バランスなどを定量的に把握することが出来た。地域における過剰施肥を未然に防止しつつ、周辺地域との連携を取っていくという観点から、こうした分析が非常に重要であると考えられる。また、畜産堆肥の流通の現在の状況は、耕種農家と畜産農家の個人的なつながりによる部分が大きく、こうしたスケールで物事を考えることによって、実際の取り組みにつなげる事が出来る分析範囲であるといえる。

ただし、柏市のケースで、手賀沼を考えた場合や、工業由来と考えられる由来不明のフローが考えられるなど、不十分な点もあった。流域単位でのデータ整備や、産業部門における栄養塩類のフローの分析については GIS を用いたデータ整備や PRTR 制度のような形で、常にそのフローを追うことが出来るような体制を整えることが重要であると考えられた。

このような分析は、特定の自治体のみによって行われるというよりは、様々な主体が様々なレベルで行って、そのデータを統合化することによってより精度が高まり、効果的な取り組みにつなげる事が出来る。そのための基本的な調査の枠組みとして、市町村レベルでの分析を行い、データを積み上げていくことがリン資源、あるいは栄養塩類全体の適正な管理と循環利用できる社会体制を作っていく上で重要であると考えられた。またこうした分析が簡単に行えるように解析手法を汎用化する必要があると考えられた。

第8章 まとめ

本研究で3つの自治体を対象としてMFAを行うことによって、それぞれの地域の産業構造などを反映したリンの流れを定量的に表すことが出来た。

茨城県坂東市のケースでは、畜産業から発生する大量の堆肥が、地域の農地の受け入れ可能量の倍近く存在するため、耕種農家と畜産農家との連携強化の必要性に加え、周辺地域との連携の必要性が示された。また、周辺地域との連携においても、堆肥の供給超過となることが予想された。しかしながら、既存の枠組みとは異なる枠組みで考えた場合には、隣接する自治体内での有効利用が可能であることが示された。

千葉県柏市のケースでは、消費由来のフローの割合が高く、大量に下水に流れ込むため、下水汚泥に含まれるリンは地域で消費される有機肥料の4倍以上の量となり、周辺地域と連携しても利用することは困難であると考えられた。しかし、下水からの化学的な回収によって化学肥料を供給した場合、年間57tの回収量が見込まれ、地域で消費される化学肥料の半分程度をまかなえる可能性が示唆された。また、このように市場での価値が高い製品として資源を回収することが、需要の少ない消費型の地域においては重要であると考えられた。

神奈川県三浦市のケースでは、野菜の生産地としての高い能力の一方、域内に畜産農家がほとんどないことから、慢性的な堆肥の供給不足になっていることが明らかになった。しかし、周辺地域との連携を考えても、周囲にも供給地となれるような地域は存在せず、域内の資源を有効に活用することが重要であると考えられた。また、ここでは有機性廃棄物の有効利用が地域のリンフローに与える影響を定量的に把握した。その結果、域内の資源を用いることによって、域内で消費される有機肥料の25～45%を供給できることが示唆された。

これらのケーススタディの結果から、地域を3つのパターンに類型化できるのではないかと考えた。

一つは消費地としての性格を持った地域で、排出量に対して需要が少ないことや、下水汚泥などの利用に際しての社会的な障壁があることが考えられるため、市場での流通まで視野に入れた、高付加価値となる方法によって回収することが望ましいと考えられた。

生産地はさらに堆肥供給型と堆肥需要型の地域の二つのタイプに分けられ、域内に大規模な畜産農家を持つような堆肥供給型の地域では、その堆肥を利用するために近隣地域まで含めた耕種農家との連携が必要であると考えられた。この際、耕地面積などから需給バランスを解析することが重要な情報源となると考えられた。

堆肥需要型の地域では、域内の未利用資源の活用と、周辺からの堆肥原料の確保などの取り組みが必要となると考えられた。周辺地域に適切な堆肥供給型の地域がない場合には、食品流通・加工といった産業部門との連携が必要となるが、この点に関して今回の MFA の結果は不十分な点が多かった。そのため、産業部門における栄養塩類のフローを把握する必要があると考えられた。

今後の展望として、こうした分析手法の一般化・汎用化を行い、各自治体レベルで解析を行うことが、未利用資源の有効活用や、周辺地域との連携などを考える際に重要であると考えられた。

また、流通・加工といった産業部門における栄養塩類の移動を把握することも重要であると考えられ、こうした情報を管理するために PRTR のような制度を作ることが有効であると考えられた。

資源の循環利用というと、全国規模の数値を出してそれらを一括して扱ってしまうような議論や、逆に何でも小さなバウンダリーの中に押し込めてしまおうという風潮があるように感じられる。それは三浦市のバイオマスタウン構想で、もともと飼料や肥料として利用されていた魚介類残渣を域内で利用しようとする姿勢にも現れているように感じた。今回の研究結果から、地域内に押し込めるというよりは、需要と供給のバランスで必要な場所に必要なものを移動させることが重要であると考えられた。そうした取り組みを効率的に進めるための基礎的な情報を整備する意味で、MFA といった分析手法がより一般的に用いられる必要があると考えられる。

謝辞

本論文を作成するに当たり、多くの貴重なご助言とご指摘をして下さり、熱心なご指導を賜りました、味埜俊 教授、佐藤弘泰 助教授、小貫元治 講師に暑く感謝を申し上げます。特に指導教官である佐藤弘泰助教授には判断に迷うときや、研究に行き詰ったときなどに多くのご意見と後押しをいただき、おかげで研究を進めることが出来ました。ありがとうございました。

また、調査に当たって、お忙しい中、多くの資料と情報を提供してくださいました、柏市役所の松山様をはじめ、三浦市役所、柏市役所、坂東市役所、千葉県職員の皆様に感謝申し上げます。

学部生と間違われても仕方ないくらい、退屈しない楽しい二年間を過ごさせてくれた研究室同期の、新井君、西条君、中野君、村上君、藤原君にも感謝申し上げます。金井さんには農工大時代から色々とお世話になりました。また、福島さん、小田和さん、押木さん、末岡さんには研究室の先輩として研究会などで多くの意見を頂いたほか、人生の先輩として、多くのことを教えていただきました。ありがとうございました。

最後に、なにかと不安定なことが多かった私を、経済的にも精神的にも常に支えてくれた家族に暑く感謝申し上げます。

参考文献

- Bossel, H.,1999. Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications
- Graedel, T. E., and B. R. Allendy. 1995. Industrial Ecology. Englewood Cliffs, N.j.: Prentice Hall.
- Liu, Y., A. P. J. Mol.and J. N.Chen. 2004. Material Flow and Ecological Restructuring in China: the Case of Phosphorous. J. Industrial Ecology 8 (3): 103-120
- Newcombe K. 1977. Nutrient Flow in a Major Urban Settlement: Hong Kong. Human Ecology.5 (3):179-208
- Smil V. 2000. Phosphorous in the Environment. Annu. Rev. Energy Environ.24:53-88
- Steen I. 1998. Phosphorous availability in the 21st century. Phosphorous Potassium217(5):25-31
- 荒卷俊哉・鈴木英司・花木啓祐（2001）有機性廃棄物の有効利用に向けたコンポスト製品の需要供給バランスの解析 ～愛知県を対象として～. 環境科学会誌. 14(4):367-371
- 小川和夫・竹内豊・片山雅弘（1988）北海道の耕草地におけるバイオマス生産量及び作物による無機成分吸収量. 北海道農試研報, 149, 57-91
- 竹中洋一・秦隆夫（2002）有畜複合農業における物質循環システム開発のための窒素フロー解析 -十勝地方の畜産・畑作を事例として-. 北海道農研研報. 177, 133-149
- 田端祐介・北川正幸・稲村達也・石田定顕・広岡博之（2006）肉牛肥育-水稲複合生産システムにおける農家レベルのリン利用とリン循環. 日本畜産学会報, 77(2):279-288
- 平田熙（2004）黒ボク畑地土壌における蓄積リンの胴体と作物への可給性. 肥料科学. 26. 73-104
- 藤村葉子（2006）生活排水の負荷量原単位と各種浄化槽による排出負荷. 用水と排水, 48(5):64-70

- 松本成夫 (2000) 地域における窒素フローの推定方法の確立とこれによる環境負荷の評価. 農環研報. 18, 81-152
- 三品文雄・新保高之 (2003) 下水汚泥リン資源化の必要性. 再生と利用. Vol.26 No.98 13-18
- 水谷潤太郎 (1997) 総窒素・総リンの物質循環図. 土木学会論文集. No.566/VII-3. 103-108.
- 水谷潤太郎 (1998) 総窒素・総リン物質循環の視点からみた環境に調和した下水道の可能性. 下水道協会誌. Vol.35. No.424.
- 水谷潤太郎 (2003) これからの肥効資源循環-長期に持続可能な物質循環を目指して-. 再生と利用. Vol.26 No.98 19-28
- 西尾道徳 (2003) 農業生産環境調査にもとづくわが国のリン酸施用実態の解明. 日本土壌肥料学雑誌, 74 (4):435-443
- 築城幹典・原田晴生 (1997) 家畜の排泄物推定プログラム. システム農学, 13(1):17-23
- 農林水産省農神水産技術会議 (2005) 進化する施設栽培 -大規模施設から植物工場まで-. 農林水産研究開発レポート No.14
- 柏市 (2005) 柏市一般廃棄物処理基本計画
- 柏市 (2005) 柏市下水道事業年報
- 千葉県下水道局 (2005) 手賀沼流域下水道事業年報
- 三浦市 (2005) 三浦市バイオマスタウン構想
- 三崎水産物協同組合 (2004) 資源循環型漁港におけるバイオマス利用エネルギー供給システムの事業化調査

参考図書

Brunner,P.H. and Rechberger, H. (2004) Practical Handbook of Material Flow Analysis.
Lewis Publishers

犬伏和之・安西哲郎 編 (2003)「土壌学概論」朝倉書店.

関東農政局水戸統計・情報センター 編 (2005)「茨城農林水産統計年報」茨城農林水産統計協会

関東農政局千葉統計・情報センター 編 (2005)「千葉農林水産統計年報」千葉農林水産統計協会

関東農政局水戸統計・情報センター 編 (2004)「神奈川農林水産統計年報」神奈川農林水産統計協会

植物栄養・土壌・肥料編集委員会 (1976)「植物・土壌・肥料大辞典」養賢堂.

(社)農山漁村文化協会 編「農業技術体系 畜産編 8 環境対策」(社)農山漁村文化協会

有機質資源化推進会議 編 (1997)「有機性廃棄物資源化大事典」

参考ホームページ

グラフと統計でみる農林水産業 わがマチ・わがムラ -市町村の姿- :
<http://www.toukei.maff.go.jp/shityoson/index.html>

財務省貿易統計 HP : <http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>

食品成分データベース : <http://food.tokyo.jst.go.jp/>

坂東市 HP : <http://www.city.bando.lg.jp/index.shtml>

柏市 HP : <http://www.city.kashiwa.lg.jp/>

三浦市 HP : <http://www.city.miura.kanagawa.jp/>