

修 士 論 文

省資源型稲作

System of Rice Intensification (SRI)の実証的検討

～発展途上国持続的農村開発への

適応可能性を探る～

Empirical Study on System of Rice Intensification (SRI),
a Resource Saving Rice Cultivation Method:
For Sustainable Rural Development in Developing Countries

東京大学 新領域創成科学研究科

国際協力学専攻

学籍番号 47-66864

氏名 清水 敬祐

本論文は，修士（国際協力学）取得要件の一部として、2008 年 1 月 25 日に提出され、
同年 2 月 5 日の最終試験に合格したものであることを、証明する。

2008 年 2 月 5 日

東京大学大学院 新領域創成科学研究科

環境学研究系 国際協力学専攻

主査_____

目 次

第1章 序 論

1. 1 SRI 稲作とは	1
1. 1. 1 概要と歴史	1
1. 1. 2 構成技術要素	2
1. 1. 3 収量・投入資源に与える影響・効果	5
1. 1. 4 世界での普及状況	7
1. 2 研究対象としての SRI 稲作	9
1. 2. 1 SRI 稲作研究の現状	9
1. 2. 2 研究課題	11

第2章 研究の対象と方法

2. 1 本研究の概要	13
2. 1. 1 研究目的	13
2. 1. 2 研究対象地	13
2. 1. 3 研究方法	14
2. 2 南スラウェシにおける収量調査および社会調査	16
2. 2. 1 調査対象地の概略	16
2. 2. 2 収量調査方法	17
2. 2. 3 社会調査方法	18
2. 3 ロンボク島における比較栽培試験	19
2. 3. 1 試験対象地の概略	19
2. 3. 2 実験圃場の特徴	20
2. 3. 3 実験の処理	21
2. 3. 4 測定・観測項目	22
2. 3. 5 灌漑方法	24

第3章 実験および調査結果

3. 1 南スラウェシにおける調査結果	25
3. 1. 1 収量調査結果	25
3. 1. 2 社会調査結果	27
3. 2 ロンボク島における比較栽培試験結果	30
3. 2. 1 試験結果概要	30
3. 2. 2 稲の生長観測結果	30
3. 2. 3 収量および収量構成要素	33
3. 2. 4 灌漑用水量	35
3. 2. 5 土壌水分および温度	36

第4章 考 察

4. 1 稲に及ぼす影響	38
4. 1. 1 実験における病害虫の影響についての考察	38
4. 1. 2 収量と収量構成要素についての考察	39
4. 1. 3 増収メカニズムについての考察	43
4. 2 灌漑用水量に及ぼす影響	47
4. 2. 1 灌漑用水量の削減効果	47
4. 2. 2 用水量削減にともなう二次的効果	47
4. 3 農家への影響	50
4. 3. 1 農家経済への影響	50
4. 3. 2 農民意識への影響	53
4. 3. 3 農家と SRI 稲作のリスク	54

第5章 結 論

5. 1 持続的農村開発と SRI 稲作	56
5. 1. 1 本研究の成果	56
5. 1. 2 SRI 稲作の有効性についての再検討	57
5. 1. 3 持続的農村開発への可能性	57
5. 2 これからの SRI 稲作研究へむけて	59
5. 2. 1 本研究の課題	59
5. 2. 2 これからの SRI 稲作研究へむけて	60

文 献	.....	63
謝 辞	.....	66
付 録	.....	67

表一覧

表 1-1	インドネシア・ロンボク島における慣行稲作と SRI 稲作	2
表 1-2	SRI 稲作による影響・効果	6
表 1-3	各国での SRI 稲作実証試験結果	7
表 1-4	ガンビアにおける SRI 稲作と慣行稲作の比較栽培試験結果	10
表 1-5	中国における SRI 稲作と慣行稲作の比較栽培試験結果	10
表 2-1	研究方法の概略	15
表 2-2	マカッサルの月別平均気温と降雨量	16
表 2-3	聞き取り調査項目	18
表 2-4	ロンボク島の月別平均気温と降雨量	19
表 2-5	実験の処理	21
表 2-6	Chiherang の品種特性	22
表 2-7	測定・観測項目	23
表 3-1	Kelara Karalloe 地区における慣行稲作と SRI 稲作の栽培管理方法	25
表 3-2	稲の生長観測結果比較	25
表 3-3	収量調査結果比較	26
表 3-4	収量構成要素の比較	26
表 3-5	聞き取り対象農家の基本情報	27
表 3-6	1ha あたりの労働投入量の変化	28
表 3-7	1ha あたりの種籾と施肥量の変化	29
表 3-8	収穫後の稲の生長観測データ	32
表 3-9	収量構成要素測定結果	34
表 3-10	総灌漑用水量	35
表 4-1	収量構成要素についての統計分析	40
表 4-2	SRI 稲作導入による作付面積の増加例	48
表 4-3	農家経済分析	51

図一覧

図 1-1	慣行稲作と SRI 稲作の苗	3
図 1-2	移植時の苗の葉齢と胚乳残存割合との関係	3
図 1-3	慣行稲作と SRI 稲作の栽植密度	4

図 1-4	SRI 稲作による間断灌漑の例	4
図 1-5	SRI 稲作の普及状況	7
図 2-1	スラウエシ島・ロンボク島位置	14
図 2-2	スラウエシ島調査対象地位置	17
図 2-3	ロンボク島試験圃場位置	20
図 2-4	試験圃場写真	20
図 2-5	試験圃場プロット配置図	21
図 2-6	実験の処理配置図	22
図 2-7	実験における灌漑スケジュール	24
図 3-1	サンカメイガの幼虫	30
図 3-2	分けつ数の変化	31
図 3-3	草丈の変化	31
図 3-4	葉色の変化	32
図 3-5	プロット別収量	33
図 3-6	累積灌漑用水量の変化	35
図 3-7	移植後 60 日目までの土壌水分量の変化	36
図 3-8	移植後 60 日目までの土壌温度の変化	37
図 4-1	各処理での一穂もみ数	41
図 4-2	各処理での平方メートルあたりもみ数	41
図 4-3	各処理での ha あたり推定収量	42
図 4-4	m ² あたりもみ数と登熟歩合の比較	43
図 4-5	1 株移植本数と一穂もみ数、分けつ数の比較	44
図 4-6	面積あたり穂数と一穂もみ数の関係	44
図 4-7	本試験での面積あたり穂数と一穂もみ数の関係	45
図 4-8	間断灌漑パターンと灌漑用水量の比較	47
図 4-9	投入財にかかる費用の比較	52
図 4-10	労働投入にかかる費用の比較	53
図 5-1	緑の革命と SRI 稲作の増収アプローチの違い	57

第 1 章

序 論



「南スラウェシでの SRI 収穫祭に集まった子供たち」

撮影場所：インドネシア 南スラウェシ州 サダン地区

撮影日：2006 年 5 月

1. 1 SRI 稲作とは

1. 1. 1 概要と歴史

System of Rice Intensification (SRI) 稲作とは、マダガスカルで発見改良された新たな稲作技術である。SRI 稲作は、独特の移植法と灌漑方式によって特徴づけられ、これらの技術をすべて組み合わせて用い栽培することにより、収量の増加のみならず、灌漑用水や肥料など、稲作にかかる投入資源の節約を果たすことができると言われるものである。SRI 稲作は、緑の革命に代表される、資源投入を増やし収量を増加させるという従来の増収技術と大きく異なり、資源投入を減らしかつ増収を達成する省資源型稲作である。この点において、SRI 稲作は“新たな”稲作技術といえる。

SRI 稲作の原型を開発したのは、アフリカの島国であるマダガスカルにキリスト教の宣教師として赴任したフランス人 Fr. Henri de Laulanié, S.J. である。彼は、宣教師としての活動の傍ら、現地における農民の暮らしを目の当たりにしたことで、農業技術を改良し農村を発展させることの必要性を感じ、独自に農業技術、特にマダガスカルにおいて重要な作物であった稲作技術の研究を行ってきた。その経験の中から SRI 稲作を構成する技術要素を見つけ出し、ひとつの形として纏め上げた。1980 年代前半のことである。その後、十数年にわたり、マダガスカル以外で SRI 稲作が知られることはほとんどなかったが、1990 年代後半になって米コーネル大の教授であった Norman Uphoff が現地において SRI 稲作を知り、彼とマダガスカルに設置された SRI 稲作普及にあたる NGO, Association Tefy Saina の尽力によって世界に紹介されるに至った (佐藤, 2006)。

マダガスカルで始まった SRI 稲作は、現在では、アジア、アフリカなど発展途上国を中心に約 30 の国々で実践され、実際にその効果を上げつつある。SRI 稲作の普及が進みつつあるインドネシア東方地域を例にとると、4,974 農家・3,758ha の水田で SRI 稲作が行われ、慣行稲作平均 4.04t ha^{-1} に対して 7.39t ha^{-1} 、83% の増収が実現されたと報告されている (Sato, 2007)。これをはじめとして、各国における SRI 稲作の成果は、肯定的な結果が様々に報告されているが、その増収効果またそのメカニズム、資源節約の効果について科学的な証明がほとんどなされておらず、否定的な見解を述べる意見や論文も多数存在するのが現状である。

次節以降は、SRI 稲作について、各栽培技術要素、および SRI 稲作が収量、投入資源に与える影響・効果について実際の例を交えながら詳しく説明を行い、その特徴を検討するものである。

1. 1. 2 構成技術要素

Laulanié により提案されている SRI 稲作は、次の技術要素から構成される。

- 1) 乳苗（胚乳に 50% 程度の養分が残った通常より若い苗）を用いて移植する
- 2) 通常より株の間隔を広くとり一本植える
- 3) 最小限の灌漑用水で間断灌漑をおこなう
- 4) 水管理や雑草防除などの栽培管理を適切におこなう
- 5) 有機肥料の施肥をおこなう

(Stoop et al., 2002)

これら 5 つの技術要素は、具体的苗齢や植栽密度、また灌漑日数などについて、詳しく定められているわけではない。そのため SRI 稲作をおこなう各国において、その国の気候や稲作の慣習にあわせた個性のある SRI 稲作がおこなわれている。ここでは、各要素について、SRI 稲作の普及が進むインドネシアのうちロンボク島の代表的な栽培方法を例にとり詳しく見てみることにする。次表に慣行稲作と SRI 稲作の相違点をまとめた。

表 1-1 インドネシア・ロンボク島における慣行稲作と SRI 稲作

	灌漑方式	湛水深	移植本数	栽植密度	苗齢	その他
慣行稲作	常時湛水	3~5 cm	4~5	25 株 m ⁻²	中苗	除草 2 回
SRI 稲作	間断灌漑	1~2 cm	1~2	11.1 株 m ⁻²	乳苗	除草 4 回

上記表に示される栽培方法により、インドネシア・ロンボク島では SRI 稲作が行われている。ここからは、技術要素別に SRI 稲作の特徴を把握する。

1) 乳苗移植

乳苗とは、播種後 8 日~14 日、葉齢 1.5 前後の、通常移植栽培に用いられる苗よりも若い苗を指す。通常の移植栽培では、播種後約 20 日、葉齢 4.0 前後の中苗を用いるのに対して、苗丈が 10 cm 程度と約半分ほどの大きさである。ロンボク島においては、10 日前後を中心とした苗が SRI 稲作に用いられている。この苗は、通常の苗が水田の隅に設置された苗代において育苗されるのに対し、次の写真のようにプレートを用いて育苗される。



図 1-1 慣行稲作と SRI 稲作の苗

乳苗移植の大きな特徴は、胚乳に約 50%程度の養分が残存した状態の若い苗を用いることである。通常用いられる稚苗ではわずかに 10%程度、中苗、成苗では胚乳の養分はほとんど残存していない。このため乳苗は、他の苗と比べると、2 日程度で活着し、植え痛み、移植後の生育停滞がほとんどないため、初期の生育が極めてよいことが知られている（農山漁村文化協会, 1995）。また、育苗期間が短いためその手間を削減できることも乳苗の特徴と言える。

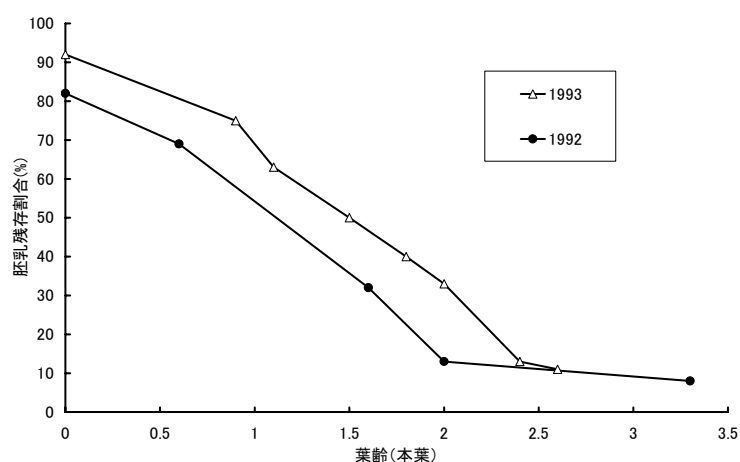


図 1-2 移植時の苗の葉齢と胚乳残存割合との関係 (農山漁村文化協会, 1995)

2) 疎植一本植え

SRI稲作では、慣行の稲作に比べて一株に一本のみ、かつ広い間隔で移植を行う。例えば、上記インドネシア・ロンボク島の例では、慣行稲作が、4~5 本で約 20 cm 四方の間隔で、目印などを用いずにバラバラに移植されるのに対して、SRI稲作では、一本のみ 30 cm 四方の間隔でラインを引き正確に正条植えする。1 m²当りの株数は、慣行 25 株に対し、SRI 11.1 株、また苗数は、慣行 125 本に対し、SRI 11.1 本とその違いは大きい。

農家により、一本のみの移植に不安をもつ場合もあり、厳密に一本植えされているわけではないが、慣行栽培にくらべて、面積あたりの株数、また移植本数は極端に少なくなっ

ている。

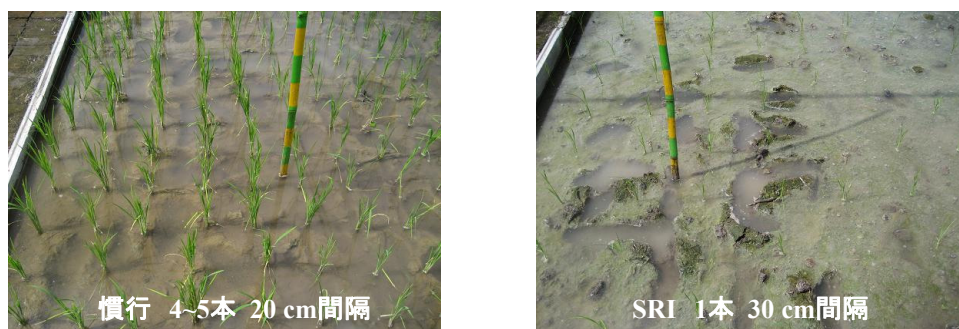


図 1-3 慣行稲作と SRI 稲作の栽植密度

疎植栽培と密植栽培を比較すると、疎植では、一株あたりの分けつ数や草丈など生育がよくなることが知られているが、面積あたりの収量では、差が少なく、逆に減収となる場合も多い。

3) 間断灌漑

間断灌漑とは、通常水田が稲の生育期間継続して湛水されるのに対し、稲の栄養生長期において、湛水と乾燥のサイクルを繰り返す灌漑方式をいう。乾燥時には、田面にクラックが入る程度まで乾燥させる。例えば、以下の図のように、移植後 60 日まで、5 日湛水－10 日乾燥というサイクルで、灌漑をおこなうものである。灌漑用水の利用可能状況や気象土壌条件などによって、灌漑サイクルは様々であるが、ロンボク島を例にみると、湛水期間を 5 日前後とし、雨季には 5 日前後の乾燥期間、乾季には、水不足から 10 日前後、最長 23 日の乾燥期間というサイクルで間断灌漑が行われている。

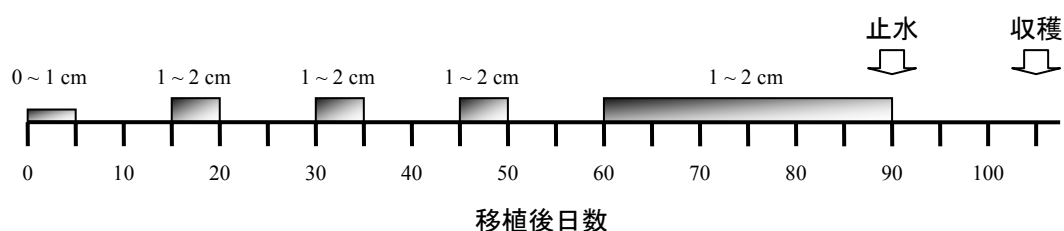


図. 1-4 SRI 稲作による間断灌漑の例

間断灌漑の効果は、土壌を常時湛水させないことで、日本や韓国で行われている中干しと同様に、土壌中また根に酸素を供給し、土壌の異常還元を防ぐということに特徴付けられる。これにより、根の活力の増進、温室効果ガスのひとつであり水田からの排出が大きな割合を占めるメタンガスの排出 (佐藤, 2006)、炭酸同化作用の活発化 (松島, 1977)を削減

といった効果をもたらすと言われる。

また、間断灌漑によって、圃場単位での灌漑用水量を削減することが可能となるが、その一方で、間断灌漑では、常に湛水させないため雑草が繁茂しやすいという負の側面もある。

4) 適切な栽培管理

SRI 稲作の実践にともない、いくつかの栽培管理についてより注意深く行う必要がある。間断灌漑により、灌漑、排水等水管理へ時間を割くこと、また湛水させないことによって雑草の繁茂がみられるため、除草の回数を増やすことが必要となる。ロンボク島において、慣行稲作では2回程度の除草作業が、SRI 稲作では、3~4 回行われている。

5) 有機肥料の施用

有機肥料の施用は、現在一般に提案されている SRI 稲作では、要素のひとつであるとされている。しかしながら、インドネシアでは、化学肥料を用いながらもその量を慣行栽培よりも減らし、増収を実現していることから、Sato (2007)は、有機肥料を用いる SRI 稲作を Organic SRI とし、用いないものを単に SRI と区別する定義を提案している。インドネシアの SRI 稲作導入過程をみると、SRI 稲作の導入期には、化学肥料を用いた形での SRI 稲作を行い、その後 Organic SRI に挑戦するという過程を踏んで、普及が進んでいる。本研究では、この定義に従い SRI 稲作には有機肥料の施用を要件とせず、Organic SRI と呼んだ場合にのみ有機肥料の施用を要件として、これ以降の検討を行うこととする。

SRI 稲作は、乳苗疎植一本植えという移植の原則、また間断灌漑という水管理の原則に代表される、これらすべての栽培技術を組み合わせて稲作を行うことにより、収量の増加とともに水資源に代表される投入資源の節約を実現する稲作である。

1. 1. 3 収量・投入資源に与える影響・効果

ここでは、SRI 稲作のもたらす影響・効果について検討する。次表に指摘されている SRI 稲作によるさまざまな効果を、稲に対する直接の影響、稲作の投入資源、労働投入への影響、環境、農家経済に分けてまとめた。

表 1-2 SRI 稲作による影響・効果 (佐藤, 2006 より筆者作成)

		正の影響	負の影響
稲	収量	増加	—
	品質	砕粒の減少、食味向上	—
投入資源	種籾	4~5 分の 1 に節約	—
	肥料	使用減	—
	農薬	減少	—
	灌漑用水	40%程度減	—
労働投入	育苗	労力減	—
	水管理	—	労力増
	除草	—	労力増
	施肥	やや減(化学肥料の場合)	労力増(有機肥料の場合)
農家経済	所得	増加	—
	生産費	減少	—

一般に SRI 稲作は稲の収量を大幅に増加させることができる稲作技術と言われるが、SRI 稲作がもつ効果は、そのみにはとどまらない。同時に灌漑用水量、種籾という投入資源についてもその量を減らすことが可能となる。これにより、稲の生産費を減らし農家所得を大きく増大させることができる。

アジアにおいて稲作の大きな増収をもたらした「緑の革命」が IRRI の IR-8 をはじめとする高収量品種 (High Yield Variety, HYV) の開発を契機にした肥料、水資源、農薬、農業機械等の大量の資源投入による増収であったのに対して、品種改良、資源投入増という従来の概念のどちらにも頼らない増収方法が SRI 稲作なのである。確かに「緑の革命」は、アジアの稲作また農業近代化に対して多大な影響を与え、増収に大きな貢献を果たしてきた。しかし、窒素肥料の大量投入による収獲逓減の顕在化、現金収入が少ない農民にとって改良品種や化学肥料の購入が難しいことによる貧富の差拡大、大量の水消費による水資源の枯渇等が「緑の革命」の負の側面として存在することも事実である (増田, 1995)。このような現状に鑑み Uphoff (2004) は、品種改良、大量投入という「緑の革命式稲作」に対するもうひとつの選択肢としての SRI 稲作の有益性を指摘している。

一方、SRI 稲作による負の影響も指摘されている。Horie et al. (2005) は、特に労働投入の面において、間断灌漑により水管理の労働負担が増加すること、湛水しないことにより雑草が繁茂し除草の手間が増加すること、SRI 稲作導入初期において学習の負担が大きいということなどをあげ SRI 稲作の持つ課題としている。また、SRI 稲作の間断灌漑には、技術的灌漑を必要とする点も問題とされている。

このように、SRI 稲作は、その労働集約的な性格が課題とされるが、増収とともに灌漑用水や種籾など投入資源を減らすことができる省資源型稲作であるという点で大きな可能性

を有している稲作技術である。また「緑の革命式稲作」のように導入にともなう大きな資本を必要としないため小規模な農家にとっても導入が容易であると考えられる。これらの理由から SRI 稲作は、発展途上国における持続的な農村開発、発展に大きく寄与するポテンシャルを持っているといえる。

1. 1. 4 世界での普及状況

本節では、SRI 稲作の世界での普及状況を概観する。次の図は、SRI 稲作が行われている国をプロットしたものである。

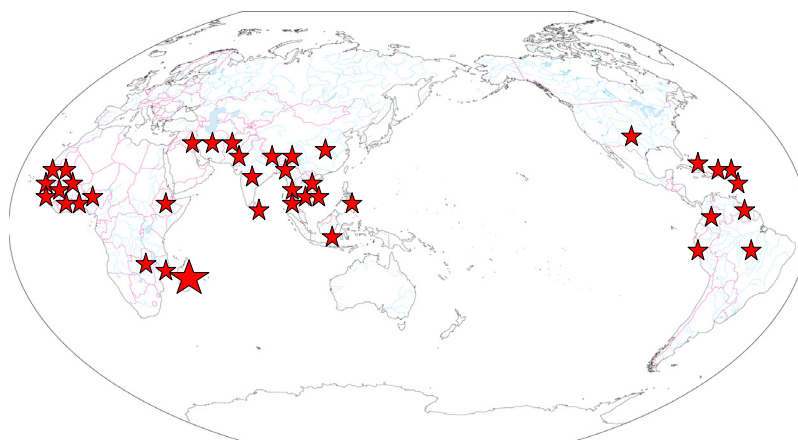


図 1-5 SRI 稲作の普及状況 (SRI Homepage より筆者作成)

各国における普及状況は様々であり、一般への普及段階に至っている国もあれば、実証試験段階、あるいは研究活動のみと多様である。しかし上図によれば、アジア、アフリカ、中南米を中心に熱帯、亜熱帯の稲作地帯へ、SRI 稲作が広まっていることが確認できる。

次に SRI 稲作による増収実績を確認する。次表は、SRI 稲作による各国の実証試験における増収実績をまとめたものである。

表 1-3 各国での SRI 稲作実証試験結果 (佐藤, 2006)

国 名	収 量 (t/ha)	国 名	収 量 (t/ha)
Bangladesh	6.3 (4.9)	Madagascar	7.2 (2.6)
Cambodia	4.8 (2.7)	Myanmar	5.4 (2.0)
China	12.4 (10.9)	Nepal	8.5 (4.2)
Cuba	7.4 (4.3)	Philippines	6.0 (3.0)
India	8.0 (4.0)	Sierra Leone	5.3 (2.5)
Indonesia	7.4 (5.0)	Sri Lanka	7.8 (3.6)

*穀物水分 14%のモミ収量、カッコ内は慣行稲作による収量

この表によればそれぞれの国において、SRI 稲作により約 2 倍近い収量の増加が見込めることが示されている。しかし、各国の普及の規模をみると大規模に SRI 稲作が普及している国は少なく、多くの国ではある程度知名度はあるものの、一部の地域でのみ試験的な栽培が行われ、普及には至っていないという現状である。

このように、各国での普及が進んでいない理由のひとつとして、SRI 稲作に関する研究がいまだ活発でないことがあげられる。次節において詳しく述べるように、増収をはじめとする SRI 稲作の効果・影響について、その実態が研究レベルで詳細に把握されておらず、増収メカニズムの検討も十分ではない。また、SRI 稲作に関する研究は、その増収効果のみに焦点を当てたものが多く、資源節約という性格についてあまり議論がなされていない。

それゆえ、SRI 稲作を、増収効果についての検証を基礎とし、かつ資源節約の効果についても、果たして効果があるのか否か、あるならばそれはどの程度か、効果が果たせる条件はどのようなものか、という側面から再考察する必要がある。本研究は、SRI 稲作を資源節約型稲作という側面から捉えなおすことで、その途上国における持続的農村開発への有効性を探ることを目指すものである。次節以降では、SRI 稲作研究について、賛否両面の論文を紹介しながら検討し、研究の課題を探っていく。

1. 2 研究対象としての SRI 稲作

1. 2. 1 SRI 稲作研究の現状

SRI 稲作研究について、世界の SRI 稲作普及にあたってきた Cornell 大学の Norman Uphoff の肯定的見解と Nature (2004, No.428)に掲載された否定的見解の報告を中心に概観してみたい。

Norman Uphoff は、SRI 稲作の歴史において概略したとおり、1990 年代後半にマダガスカルから SRI 稲作を世界に紹介し、その後も各国を訪れ SRI 稲作の現状を視察、また講演を行うなどして SRI 稲作の普及にあたってきた。彼自身は、元来稲作研究の専門家ではなく、政治学、開発経済学などを専門としている。彼は、社会経済的側面から SRI 稲作の効果に着目し、彼を SRI 稲作の情報センターとして、研究を進めてきた。

Norman Uphoff が共著となり執筆された論文が Stoop et al. (2002)である。この論文では、マダガスカルにおける SRI 稲作を紹介するとともに、稲を生理学、生態学側面から概観している。そして、SRI 稲作の増収効果は、技術要素、労働力、水資源など稲に関わる環境を適切に管理することによる相乗効果の結果であると述べ、SRI 稲作に対し、灌漑用水を減らしながら、特別な追加投入なしに取り組むことの可能な増収技術であると肯定的論証を加えている。また、研究という側面から、稲をはじめとする穀物生産に対し、従来のように生物学的研究に偏るのではなく、社会経済的研究を加え、より広範な視点より研究に取り組むことの重要性を訴えている。

Rafaralahy (2002)は、SRI 稲作普及にあたるマダガスカルの NGO Tefy Saina による SRI 稲作に対する実証的報告である。この論文では、SRI 稲作の基本的情報に加え、Laulanié が SRI 稲作による増収の根拠のひとつとした片山 (1951)による稲の分けつ理論を紹介し、マダガスカル各地での SRI 稲作による収量を報告している。これによれば、ha あたり 15 ton から 20 ton もの高収量が得られたとされる。

また、Ceesay et al. (2006)では、アフリカのガンビアにおいて 2001 年から 2003 年までの 3 年にわたる SRI 稲作の試験によって SRI 稲作の有効性を実証している。この論文では、栽植密度と間断灌漑の有無により、比較栽培試験を行い、表 1-4 のような結果を得ている。

加えて佐藤 (2006)では、灌漑開発プロジェクトの一部として、SRI 稲作を実際にインドネシアにおいて普及にあたった経験からその有効性と課題について検討している。この中では、SRI 稲作による根の健全性がその増収をもらす要因の一部であるとし、さらなる SRI 稲作研究の必要性について強調している。

表 1-4 ガンビアにおける SRI 稲作と慣行稲作の比較栽培試験結果 (Ceesay et al., 2006)

処理	栽植密度 (cm)	一株げつ数	一株穂数	わら重 (ton ha ⁻¹)	収量 (ton ha ⁻¹)
常時湛水	20 x 20	30	11	4.9	2.5
	30 x 30	45	13	4.9	1.7
	40 x 40	47	14	5.1	1.3
SRI	20 x 20	23	16	5.4	7.3
	30 x 30	37	27	7.5	6.6
	40 x 40	50	36	6.3	4.7

*試験では、SRIが播種後14日苗を1本植え、常時湛水が播種後28日を3本植えた。栽培品種は西アフリカにおいて広く栽培されているIET3137, ITA 306, BG 90-2を用いた。結果は、2002年から2004年の平均。

さて、SRI 稲作に対する反証に視点を移し概観してみよう。Nature に掲載された SRI 稲作に対する反対記事は、Sheehy et al. (2004)と Dobermann (2003)によるものであった。これら論文は、SRI 稲作に対し、理論的、また実証的側面から共通して否定的論証を加えている。

Sheehy et al. (2004)では、収量のポテンシャルを数理モデルを用い検証することで、前出の Rafaralahy (2002)で得られたとされる 20t 以上もの収量は計測ミスであると断定し、反対意見を述べている。また中国において実証試験を実施し、両者の間に有意な差はなく、SRI 稲作は収量の増加に対してなんらの効果もないと結論付けた (表 1-5)。

表 1-5 中国における SRI 稲作と慣行稲作の比較栽培試験結果 (Sheehy et al., 2004)

処理	収量 (ton ha ⁻¹)	穂数 (m ⁻²)	一穂もみ数	登熟歩合 (%)	もみ重 (mg)
Jiagsu					
SRI	9.86 ± 0.27	217 ± 6	186 ± 4	80.8 ± 1.9	27.0 ± 0.3
Conventional	9.08 ± 0.22	225 ± 8	165 ± 7	80.7 ± 2.3	27.7 ± 0.7
% increase	8.5	-3.5	12.7	0.1	-2.5
Hunan					
SRI	6.70 ± 0.23	236 ± 11	116 ± 6	78.9 ± 3.0	27.0 ± 0.4
Conventional	7.35 ± 0.17	238 ± 19	121 ± 4	82.9 ± 0.7	27.8 ± 0.2
% increase	-8.8	-0.8	-4.1	-4.8	-2.5
Guangdong					
SRI	7.16 ± 0.32	244 ± 20	141 ± 4	72.6 ± 2.4	27.3 ± 0.3
Conventional	7.22 ± 0.92	254 ± 13	139 ± 5	66.4 ± 0.6	27.1 ± 0.0
% increase	-0.8	-3.9	1.4	9.3	0.7
統計分析					
場所	***	*	***	***	NS
処理	NS	*	**	NS	*
交互作用	*	NS	**	**	NS

*結果は地域ごとに n = 4 の平均と標準偏差。統計分析により得られた結果は、それぞれ場所、処理、それらの交互作用による影響を示す。

統計分析での記号は、NS = Not Significant, * P = 0.05, ** P = 0.01, *** P = 0.001 を示す。

Dobermann (2003)は、SRI 稲作による間断灌漑は、たしかに水資源の節約には効果があるが、収量増加には貢献せず、湛水することによる稲への養分供給の仕組みが働かなくなるため、むしろ長期間継続して栽培することによる地力の低下などのリスクが大きいと主張している。さらに既存の SRI についての研究は、単にフィールドにおける経験から得られたデータのみについての考察であり、土壌特性についての評価、また天候、実験方法、サンプリングの方法などについて、科学的な視点に欠けているとも述べている。また、社会経済的な SRI の欠点として、間断灌漑のように管理方法が、従来の耕作法に比べて複雑な稲作を導入することは、農民にとって非常に負担が大きく実践が難しいとし、管理の複雑化、除草作業の増加によって、労働投入が大幅に増加することをあげている。

また、Horie et al. (2005)は、様々な稲の増収手段のひとつとして SRI 稲作をとりあげ、中立的な立場から SRI 稲作を分析している。彼らは、SRI 稲作を構成する技術要素が日本において試みられてきたものであり、稲の生長や増収に対し可能性を持っていると述べてながらも、その労働集約的性格や報告されているあまりに多い収量に対し疑問を投げかけている。

以上のように、SRI 稲作に対して肯定的論証、否定的論証がともに拮抗して存在しており、なお研究し尽くされぬ部分が多く存在しているのが現状である。次節において上記議論を踏まえ SRI 稲作についての研究課題について検討することとする。

1. 2. 2 研究課題

SRI 稲作を考える課題において最大のものは、その研究数が現状ではまだ少ない、または研究が行われていても論文や報告というかたちで発表されることが少ないため、その実態があまり把握されていない点であると考え。多くの研究者が SRI 稲作の名前を知り興味を持つようになってきてはいるが、SRI 稲作に対する検証はいまだ不十分である。特に日本においては、注目している研究者はいまだ少なく、ようやく研究会というかたちでまとまりができた程度である。佐藤 (2006)に述べられているように、稲作研究の分野において知識と経験を積み重ねてきた日本が SRI 稲作研究分野において先進的役割を果たすことは、非常に有益であると考え。SRI 稲作の研究を活性化させることも非常に重要な課題であるということを研究課題の検証以前に強調しておきたい。

さて、肯定的、否定的論証両者の主張をみながら SRI 稲作の研究課題を検証しよう。肯定的論証の論文やレポート等をみると、SRI 稲作の有効性を強く述べ、にわかには信じがたい増収効果を示しているものも多く、また単なる“報告”にとどまり増収や資源節約の根拠が疑わしい論文もある。これらは、科学的根拠に乏しい単なる報告であり、SRI 稲作の影響・効果について適切に分析したものとは言い難いのではないか。否定的論証を述べる論文においても、SRI 稲作の増収効果の報告に対して、その科学的根拠の欠如を指摘するものが数多くある。増収、資源節約等の効果、また労働投入の増加などの悪影響について、SRI

稲作によりどのような影響・効果があるのか、あるとすればそれはどの程度なのか、その科学的な根拠はいかなるものか、という3点について詳細に分析し、示す必要が SRI 稲作研究の初期段階として存在していると考ええる。

また、否定的な論考の論文は、理論的側面に偏り、実際に SRI が行われている現場からの視点に欠けているように見受けられる。SRI 稲作は、実験圃場のみでおこなわれている稲作ではなく、普及面積は少ないものの、世界各国で農家が実際に行っている稲作である。そのような“現場”での SRI 稲作を見ることなしに理論のみ、または実験のみで効果なしと結論付けるのはあまりに短絡的と思われる。もちろん生理学や栽培学のような視点からの理論的、実証的裏づけは、非常に重要であり、SRI 稲作研究の中核をなすものである。ただ、SRI 稲作が構成技術を中心とした栽培管理の適正化という複合的な要素を含む稲作であることから、単一の視点のみから議論するのではなく、社会経済的視点をはじめとした、多様な切り口から議論し、その結果を統合していく必要があると考えられる。

SRI 稲作研究における課題を、上記議論を踏まえ、まとめてみたい。第一に技術的側面から SRI 稲作について検証を加え、増収を成し得るメカニズムを解明していく必要がある。特に SRI 稲作を構成する、間断灌漑や移植方法といった技術要素が、稲の収量に対し、どのような効果を持つのか、またそれらを組み合わせて実践することにより、どのような相乗効果があらわれるのか、について着目し検証することが重要となる。

第二に SRI 稲作実践にともなう灌漑用水、肥料など資源節約の効果について、その是非について定量的手法を用いて検証を加えることが必要となるであろう。SRI 稲作の特徴は、前述のとおり資源節約型稲作である点である。この点が従来の増収技術や手法と一線を画す点であり、途上国における持続的農村開発に対し有効と考えられる根拠となる。増収のみへの着目ではなく、投入資源へフォーカスを当てた研究が必要だと考えられる。

第三に SRI 稲作研究に対し、現状では不足していると考えられる、社会科学的視点を加える必要がある。SRI 稲作が否定されるひとつの要素として労働集約的農法であるということが指摘されているため、労働投入に対し、詳細な調査・分析を加えるべきである。また、SRI 稲作による様々な影響・効果を総合的に判断し、その有効性を検証するためには、所得、稲作コスト、労働投入量といった農家経済に関わる項目を、慣行稲作と SRI 稲作について比較分析を行うことが有効な手法となりうるであろう。加えて、SRI 稲作導入による農家の意識変化、それによる栽培管理の適切化が稲の収量に対し影響を与えていることも否定できない。増収に対し、技術、農民意識両面から SRI 稲作を検討する必要性があるのではないだろうか。

第 2 章

研究の対象と方法



「南スラウェシでの収量調査 ～現地技術者とともに実施した～」

撮影場所：インドネシア 南スラウェシ州 サダン地区

撮影日：2006 年 5 月

2. 1 本研究の概要

2. 1. 1 研究目的

本研究は、省資源型稲作という特徴から発展途上国における持続的農村開発に対し有効に活用可能と考えられる SRI 稲作に対し、その影響・効果を科学的に検証し、もって持続的農村開発への適応可能性を探ることを主目的とする。

前述の通り、SRI 稲作の研究における問題点は、増収をはじめとする影響・効果の実態がほとんど把握されず評価されていない、またそれら影響・効果について科学的根拠をもつ解明がなされていないこと、投入資源節約という SRI 稲作がもつもうひとつの大きな特徴について議論が少ないこと、SRI 稲作を議論する視点が技術的、理論的サイドに偏っているということである。これら現状をふまえ、本研究では、SRI 稲作の影響・効果を適切に評価し、その科学的根拠の解明を可能な限り目指すこと、投入資源の節約について定量的な分析を加えること、研究の視点を可能な限りひろげ、社会科学的側面からも SRI 稲作を分析すること、以上 3 点を、主目的を達成するための下位目標として設定する。

本研究は、上記目標に従い、SRI 稲作のもつ影響・効果について、ファームレベルでの収量調査および社会経済調査、SRI 稲作と慣行稲作の比較栽培試験という 2 つの異なる側面から SRI 稲作を考察し、その有効性、妥当性を検証するものである。

2. 1. 2 研究対象地

研究対象地として、インドネシア東方地域を選定した。インドネシアでは、ジャワ島を中心とした地域、およびバリ以東を中心とした東方地域、2 地域において異なる主体が SRI 稲作の普及にあたっている。このインドネシア東方地域では、JBIC の円借款による小規模灌漑プロジェクト DISIMP¹ が実施されており、灌漑設備の整備とともに農業技術指導が行われ、DISIMP のもと、当該地域において SRI 稲作の普及活動が進められている。

研究対象地選定の理由として、SRI 稲作が試験的なレベルではなく、農民による実践段階であり、比較的広範囲に普及していること、また日本による円借款プロジェクトのもと、普及が進められているため、各地での普及状況が把握しやすく、収量調査や聞き取り調査が容易に実施できることが挙げられる。

インドネシア東方地域における SRI 稲作の普及状況を概略する。当該地域では、DISIMP のもと、2002 年にスンバワ島で 11 農家、計 3.4ha に SRI 稲作が試験的に導入された。その

¹ DISIMP, Decentralized Irrigation System Improvement Project in Eastern Region of Indonesia, プロジェクト第 4 期から英語名が DISIMP に変更。第 3 期までは、SSIMP, Small Scale Irrigation Management Project という。現在 2012 年までの第 5 期 DISIMP-II の実施が予定されている。

結果、効果を確認したプロジェクトでは、本格的な普及を開始し、2006年には、延べ4,974農家、3,758haの水田でSRI稲作が行われ、慣行稲作平均 4.04 t ha^{-1} に対して 7.39 t ha^{-1} 、83%の増収 40%灌漑用水の節約が成されている。普及の中心は、南スラウェシ (650ha)、ロンボク島とスンバワ島を含む西ヌラトゥンガラ洲 (1,169ha) などである。

東方インドネシアの中から収量調査および農家への聞き取り調査対象として、南スラウェシ州、比較栽培試験の対象地としてロンボク島を選定した。



図 2-1 スラウェシ島・ロンボク島位置 (Photo by Google Earth)

2. 1. 3 研究方法

SRI 稲作の影響・効果を科学的に検証するという前述の研究目的に従い、SRI 稲作の現状を概観しその影響・効果を確認するため、次表のように圃場試験および収量調査、聞き取り調査を研究方法として用いた。それぞれの研究は、収量調査および農家に対する聞き取り調査を 2006 年 8 月に南スラウェシ州にて、比較栽培試験を 2007 年 5 月~9 月の期間、ロンボク島に DISIMP の協力により設置された試験圃場にて実施した。

SRI 稲作の肯定的報告レポートは、フィールドでの検証を中心としたものが多数である。それとは逆に否定的論証は、試験的に SRI 稲作を行ったものや稲作理論からの検証が多い。本研究は、ファームレベルで SRI 稲作の実態を把握することを目的とした収量調査、農家への聞き取り調査、また稲作科学という側面から SRI 稲作を検討する比較栽培試験という 2 つの異なった側面から検証を行うことで、増収、資源節約の両面から SRI 稲作の有効性、

妥当性をより適切に考察することを目指している。なお本研究は、前述の東方インドネシア地域における灌漑プロジェクト DISIMP の協力を得て実施された。

南スラウェシ州での収量調査および農家への聞き取り調査では、SRI 稲作の収量に与える影響を確認するため、慣行稲作との比較収量調査を実施し、同時に SRI 稲作導入による種籾、肥料など投入資源量の変化、農家経済や労働投入の変化について、SRI 稲作をおこなう農家から聞き取り調査を実施した。

ロンボク島では、SRI 稲作の増収メカニズムの一端を解明し、灌漑用水量を中心とした投入資源の節約に与える効果を検証するため、その技術要素のうち間断灌漑の影響を中心とし比較栽培試験を実施した。これにより、間断灌漑の方法および移植の方法が収量および収量構成要素に与える影響を確認することを目指した。また灌漑用水量の変化についても計測をおこない、SRI 稲作による節水効果を調査した。それぞれの研究対象地および研究手法の詳細については後述する。

表 2-1 研究方法の概略

研究方法	対象事項	対象地	調査時期
収量調査	収量	南スラウェシ	2006 年 8 月
聞き取り調査	農家経済 資源・労働投入 農民意識	南スラウェシ	2006 年 8 月
比較栽培試験	収量 稲の生長 灌漑用水量	ロンボク島	2007 年 5 月~9 月

2. 2 南スラウェシにおける収量調査および社会調査

2. 2. 1 調査対象地の概略

南スラウェシ州は、スラウェシ島の南西半島部に位置する面積約 62,480 km²、人口約 820 万人、東方インドネシアの中心都市マカッサルを擁するスラウェシ島の州である。赤道付近に位置するため年間を通じて高温で、乾季雨季の差がはっきりしており、5 月から 10 月が乾季、11 月から 4 月が雨季となっている。降水量は年間約 3,000mm と比較的多いが、最南端部や中央部では、乾季の降雨量が極端に少ない地方も存在している。

この南スラウェシ州では、DISIMP の指導のもと複数の灌漑スキームにおいて SRI 稲作の普及が行われている。本調査では、南スラウェシ州の灌漑スキームのうち、それぞれ SRI 稲作が比較的普及している地区を選定し、南スラウェシ南部の Kelara Karalloe 地区を対象として収量調査および聞き取り調査を、また南スラウェシ北部の Sadang 地区において聞き取り調査実施した。

表 2-2 マカッサルの月別平均気温と降雨量 (出典: World Meteorological Organization)

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	☆
最低気温℃	23.2	22.7	23.3	23.6	23.4	22.9	21.7	20.1	21.2	21.7	22.7	23.0	22.5
最高気温℃	30.7	31	31.3	32	32.1	32.5	32.4	34.3	34.8	34.6	33.5	31.3	32.5
降雨量 mm	734	533	391	235	127	66	48	15	32	83	273	549	3086
降雨日数	27	26	23	20	17	8	4	2	4	7	24	25	187

*1961~1990 年 30 年間平均。☆最高、最低気温は年平均、降雨量、降雨日数は年間合計

Kelara Karalloe 地区は、Kelara 川と Karalloe 川という二つの河川から取水された水により灌漑が行われている総面積 7,004ha の灌漑地区である。南スラウェシ州の中でも特に雨量が少なく、農業に依存した貧困地域が Kelara Karalloe 地区である。雨季には河川より十分な灌漑用水が得られるが、乾季になると、上流域約 1,200ha を除き稲は栽培できない。この地区では、51 の水管理組織 (Water User Association, WUA)、またその上位組織である 3 つの水管理組織連合 (Water User Associations Federation, WUAF) が組織されている。

当該地区での SRI 稲作は、3 つの WUAF のうちひとつのリーダー農家が 2003/2004 の雨季に約 4ha で栽培を行ったことをはじめとしている。このリーダーの指導と DISIMP プロジェクトのサポートによって SRI の栽培面積が拡大されてきた。2005/2006 雨季実績で約 7,004ha 中 SRI 稲作は 2,249ha まで拡大したが、上流域での灌漑水路決壊の影響による水不足で現在は若干減少している。

収量調査は、Kelara Karalloe 地区の上流に位置する 1 ブロックの水田を対象として、聞き

取り調査は、本地区の複数地域において WUAF のリーダーを含む農家に対して実施した。

Sadang 地区は、南スラウェシ北部の中心都市 Pare Pare 付近における灌漑スキームである。ここは、Kelara Karalloe 地区と比較して灌漑設備の整備が進んでいるため、水が豊かであり、また大規模に稲作が実施されている地区である。従来 Sadang 地区においては、直播を主とした稲作が実施されていたが、2004 年乾季に SRI 稲作が始まると移植栽培も増加し、2006 年乾季には、413 農家、344ha において SRI 稲作が実践されている。

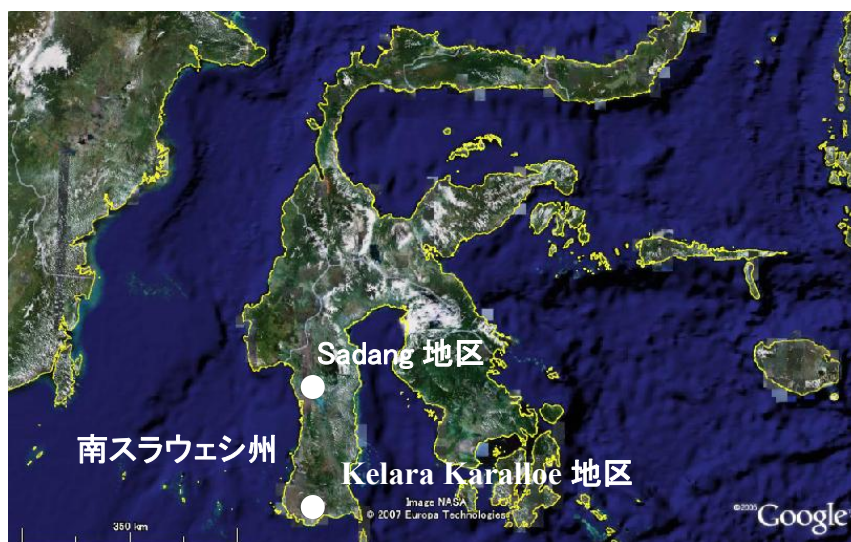


図 2-2 スラウェシ島調査対象地位置 (Photo by Google Earth)

2. 2. 2 収量調査方法

収量調査の手法について詳細を述べる。本調査は、2006 年 5 月～8 月の乾季作を対象とし、Kelara Karalloe 地区上流域において 8 月の収穫時期において実施された。対象地において SRI 稲作と慣行農法でそれぞれ一枚ずつの水田を選定し、坪刈りによる調査を行った。対象水田の選定にあたっては、当該地域が棚田であるため、同程度の標高にあり、なるべく近接した水田をそれぞれ SRI と慣行農法で選定した。選定後それぞれの水田において、一坪 3.3m^2 程度の稲を刈り取り、おのおのの株について全長、有効分げつ数、穂数、茎重、穂重の各項目についての計測を行った。同時に調査対象水田の測量を行い、面積を計測している。また、同時に平方メートル当り穂数、一穂当りもみ数、登熟歩合、千粒重という収量構成要素についても計測、推定を実施した。

2. 2. 3 社会調査方法

社会調査は、調査対象地の慣行稲作および SRI 稲作の実態を把握するため、それぞれの栽培管理方法、水管理方法、肥料、種籾、農薬等の投入財、労働投入量について、事前に質問項目を決め、複数の農家に対して実施した。またこれとは別に Kelara Karalloe 地区での SRI 稲作の実態および灌漑方法について確認するため、WUAF のリーダー農家に対して聞き取りを行った。なお調査における質問項目は次表のようである。

表 2-3 聞き取り調査項目

基本情報	名前、年齢、学歴、家族数
稲作形態	水田面積、稲の年間作付け数、作付けパターン、土地所有携帯
労働投入	耕起、播種、移植、除草、施肥、水管理、収穫における労働量および単価
投入財	種籾、肥料、除草剤、殺虫剤、水利費、輸送費

*聞き取り調査表の原本は付録に添付した (付録 8-1)。

2. 3 ロンボク島における比較栽培試験

2. 3. 1 試験対象地の概略

ロンボク島は、バリ島の東側、西ヌサトゥンガラ州¹に属する面積約 4,725km²、人口約 270 万人の島であり、バリ島と同様に観光でもその名を知られているが、稲作や牧畜をはじめとする農業を産業の中心とする島である。

ロンボク島における気温、降雨量は以下の通りであり、年間を通じて高温であるが、降雨量がインドネシアでも比較的少なく、さらに東部にいくにつれ非常に乾燥した地域となる。季節は、乾季が 5 月から 10 月、雨季が 11 月から 4 月である。西、中部、東ロンボクの 3 県からなり、西ロンボクは、降雨量もあり灌漑水路が整備されているため比較的水が豊かであるが、中部、東ロンボクでは、乾季には農業用水が大きく不足することもある。

現在 DISIMP の下、複数の灌漑施設のリハビリテーションプロジェクトが進行中であり、水不足地域の解消にあたっているが、依然として中部ロンボクと東ロンボクでは、乾季の水不足が深刻である。

表 2-4 ロンボク島の月別平均気温と降雨量 (出典: World Meteorological Organization)

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	☆
最高気温℃	32.3	32.2	31.6	31.5	30.2	29.4	28.5	28.9	29.9	31.4	32.5	33.1	31.0
最低気温℃	22.1	21.8	22.9	22.8	22.8	22.2	22.3	22.4	21.9	22.3	22.6	24.0	22.5
降雨量 mm	280	223	162	108	94	44	29	19	33	110	165	247	1514
降雨日数	21	18	14	16	9	7	5	2	4	11	13	20	140

*1961~1990 年 30 年間平均。☆最高、最低気温は年平均、降雨量、降雨日数は年間合計

ロンボク島では、南スラウェシ州と同様に DISIMP が主体となり SRI 稲作の普及にあたっている。DISIMP における灌漑開発、また灌漑施設リハビリのスキーム毎に普及がおこなわれ、2004/05 の雨季に約 4ha にて SRI 稲作が始まり、2006 年乾季では中部ロンボクを中心として約 270ha、360 戸の農家の水田で SRI 稲作が実践された。

本研究では、ロンボク島のうち中部ロンボクにおいて DISIMP の協力を得て、試験圃場を設置し SRI 稲作の技術要素に着目した比較栽培試験を実施した。

¹ バリ島、ロンボク島、スンバワ島を構成されるインドネシアの州である。スンバワ島は、DISIMP における SRI 稲作実証試験が開始された場所であるが現在でも 1,000ha 近い水田において SRI 稲作がおこなわれている。また、比較的土壌が肥沃であるといわれており、SRI 稲作により 10 ton ha⁻¹ 以上の収量をあげたという報告もある。バリ島では、2006 年から SRI 稲作の普及が始まった。バリ島は地形が複雑であり、棚田のような小規模水田が多いため、SRI 稲作による増収が注目されている。



図 2-3 ロンボク島試験圃場位置 (Photo by Google Earth)

2. 3. 2 試験圃場の特徴

試験圃場は、中部ロンボク、Puyung に位置している。試験圃場の位置する場所は、タバコ会社の設置したトレーニングファームであったが、DISIMP がその一部を借り受け、試験圃場を設置した。また SRI 稲作のデモファーム兼トレーニングファームとして整備している。本研究では、DISIMP の協力の下、このロンボク島の試験圃場にて SRI 稲作の比較栽培試験を実施した。

本試験圃場の概略は、以下の通りである。利用可能なプロットは、1 プロット $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ が 20 プロットある。それぞれのプロットが取水口をもつため独立した水管理が可能であり、同時に灌漑用水量が計測できるように設計されている。プロットは、50cm の深さまでレンガで仕切られており、相互の影響を少なくしている。また、各プロットは、排水口を持たず、灌漑した用水はすべて浸透および蒸発散で消費される。周囲は、タバコ畑および水田で囲まれており、周辺からの影響は最小限にとどめられている。



図 2-4 試験圃場写真

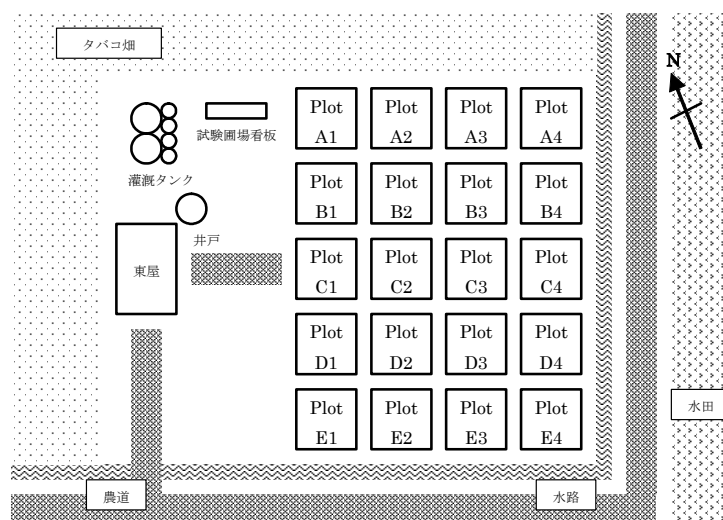


図 2-5 試験圃場プロット配置図

2. 3. 3 実験の処理

本試験では、SRI 稲作の構成技術要素のうち間断灌漑が収量および収量構成要素におよぼす影響について確認することを主目的とし、次表のように実験の処理を決定した。

表 2-5 実験の処理

プロット名 (湛水-乾燥サイクル)	水管理 (湛水深)	苗 齢	一株本数	栽植密度	施肥法	除草回数
慣行稲作栽培 Control	常時湛水 (4-5cm)	中苗 21 日	4-5 本	25 株 m ⁻² (20 x 20 cm)	化学肥料	2 回
慣行移植法＋間断灌漑						
T1 (5-5)	間断灌漑 (1-2cm)	中苗 21 日	4-5 本	25 株 m ⁻² (20 x 20 cm)	化学肥料	4 回
T2 (5-10)						
T3 (5-15)						
T4 (5-20)						
SRI 移植法＋間断灌漑						
S1 (5-5)	間断灌漑 (1-2cm)	乳苗 8 日	1 本	11.1 株 m ⁻² (30 x 30 cm)	化学肥料	4 回
S2 (5-10)						
S3 (5-15)						
S4 (5-20)						

*実験計画については、付録 1-1, 1-2, 1-3 参照

実験は、上記の表にしたがい、現地における慣行稲作を対照区 (Control)として、慣行移植法に間断灌漑を適用した処理区 (T1~T4)、SRI 稲作による栽培をおこなった処理区 (S1~S4)をそれぞれ設定した。間断灌漑は4パターンとし、湛水期間を5日に統一、それぞれ5日、10日、15日、20日の乾燥期間を設けたサイクルで稲の栄養生長期において間断灌漑を行った。それぞれの処理は2反復ずつ用意した。各処理の試験圃場における配置を以下に示す。間断灌漑の詳細なスケジュールについては後述する。

A	T1-a	T2-a	T3-a	T4-a
B	S1-a	S2-a	S3-a	S4-a
C	Control-a	SRI*	Control-b	
D	S3-a	S1-a	S4-a	S2-a
E	T3-a	T1-a	T4-a	T2-a
	1	2	3	4

図 2-6 実験の処理配置図

現地の実情に従い、SRI 稲作では、播種後8日の乳苗を用い、30cm 間隔で1株1本ずつ正条植え、慣行稲作では、播種後21日の中苗を20cm 間隔1株4~5本植えと設定した。また、栽培品種は現地高収量品種 Chiherang を用い、施肥量、除草回数、防除などについても、現地の実情にあわせた方法により行った。なお本試験においては、苗齢の異なる2種類の苗を用いているが、移植の日を揃えるかたちで試験を実施した。

表 2-6 Chiherang の品種特性 (Suprihartno et al., 2006)

Chiherang (高収量品種)			
生育期間	: 116 ~ 125 日	平均千粒重	: 28 g
平均分げつ数	: 14 ~ 17	平均収量	: 6.0 t / ha
平均草丈	: 107 ~ 115 cm	潜在収量	: 8.5 t / ha

2. 3. 4 測定・観測項目

本試験における測定・観測項目について、対象のサンプル数、観測時期、観測手法とともに以下の表にまとめた。

表 2-7 測定・観測項目

カテゴリ	測定・観測項目	対象数	観測時期	観測手法
稲の生長	草丈	1プロット5株	移植後5日毎	
	分けつ数	1プロット5株	移植後5日毎	
	葉色	1プロット5株	移植後5日毎	葉色版
	定点写真	プロット全体	移植後5日毎	デジタルカメラ
	根長	SRI 代表4株	移植後10日毎	
	根の写真	SRI 代表4株	移植後10日毎	デジタルカメラ
	一株穂数	1プロット5株	収穫時	
	一株穂重	1プロット5株	収穫時	
収量と 収量構成要素	プロット収量	全プロット	収穫時	慣行の刈取手法による
	収量構成要素	1プロット代表3株	収穫時	
灌漑用水量	灌漑用水量	全プロット	毎日	灌漑タンク
土壌	土壌条件	全プロット	収穫後	研究所に依頼
	土壌水分	各処理1プロット	常時	TDR土壌水分計 ²
	土壌温度	SRI 各1プロット	常時	土壌温度計
気象条件	気温湿度		常時	フィールドサーバ
	雨量		毎日	マニュアル雨量計
	風向風速		常時	風向風速計

本試験では、稲の生育期間すべてにわたり5日毎に各プロットにおける稲の生長について、周辺を除き同条件で一列5株を選定し、草丈、分けつ数、葉色の測定、また定点からの写真を記録した。また10日毎に根のサンプルを採取し、根長を計測、写真を記録した。

収穫後、継続観測を行った5株について刈り取り、一株穂数、一株穂重について測定し、収量構成要素は、1プロット5株×5株、計25株をサンプルとし、平均的な3株を選定後、単位面積穂数、一穂モミ数、登熟歩合、千粒重について測定し、収量を推定した。

その後、すべての稲を刈り取り、現地で行われている一般的な方法で、脱穀、風選によりモミを選別し、サンプルに用いた株の収量を補正した上で、プロットごとの総収量を測定した。

灌漑用水量は、全プロットにおいて灌漑するたびに用水量を計測し、記録して総用水量を求めた。間断灌漑による土壌の乾燥度合を知るため、TDR 土壌水分計を用い、常時土壌水分量、また土壌温度について計測をおこなった。

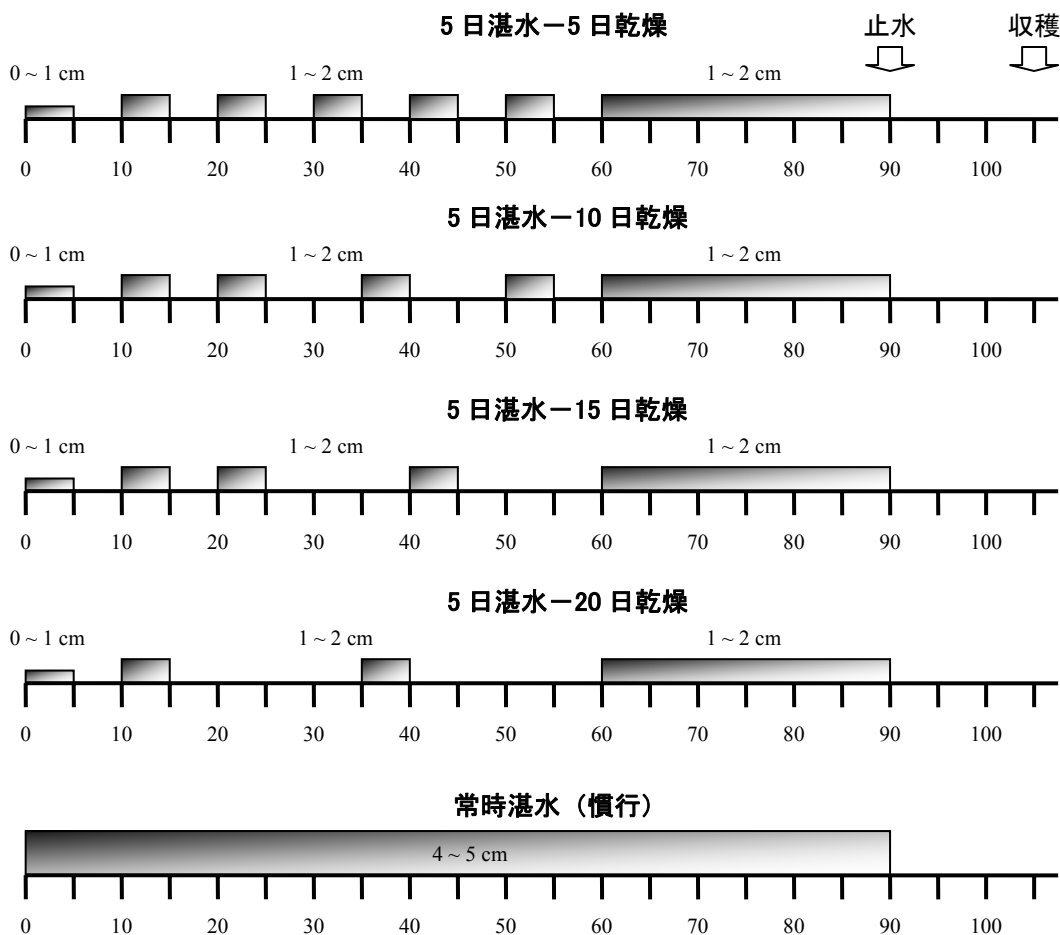
また、基礎データとして現地の研究所に依頼して土壌の物理性、化学性を測定し、気象

² Time-Domain Reflectometry (時間領域反射率測定) 土壌水分計：物質中の電磁波の伝播速度がその物質の水分量に大きく依存することを利用した水分計測器

条件をフィールドサーバと呼ばれる観測装置を用い、気温、温度について、また風向風速、雨量についても測定した。

2. 3. 5 灌漑方法

灌漑方法について以下に述べる。間断灌漑のパターンは、4通りを設定し、湛水期間を5日に統一、乾燥期間をそれぞれ5日、10日、15日、20日と変えた。また現地での間断灌漑の実践方式に近づけるため、稲の生育初期には、20日乾燥を除くパターンで5日湛水5日乾燥を1ヶ月程度行うという方式とした。間断灌漑はそれぞれ移植後60日まで行い、その後は常時湛水、収穫前15日を目安として落水するよう定めた。湛水深は、移植直後は、0~1cmで田面が濡れる程度、その後は1~2cmとし、常時湛水に比べ、最低限の水深で灌漑を行うこととした。対して常時湛水では、移植後から落水まで常に湛水することとし、湛水深を4~5cmと現地での慣行の稲作方法にあわせた形式で行った。



*横軸数字は、移植後日数

図 2-7 実験における灌漑スケジュール

第 3 章

実験および調査結果



「サンプリングされた SRI 稲作による稲の根」

撮影場所：インドネシア 西ヌサトゥンガラ州 中部ロンボク

撮影日：2007 年 8 月

3. 1 南スラウェシにおける調査結果

3. 1. 1 収量調査結果

今回収穫対象とした稲は、2006 年乾季作であり、SRI栽培の稲については、5 月 8 日播種、5 月 18 日移植、刈り取りが 8 月 30 日に行われた。調査対象地域栽培されている品種は、Membramoと呼ばれる高収量品種であり、SRI稲作では、移植後約 105 日で収穫されるのが一般的である。今回の調査対象圃場は、傾斜地に存在し一枚あたりの面積が小さいため、慣行栽培が 63.6 m²、SRI稲作が 45.4 m²であった。以下に調査対象地のKelara Karalloe地区における慣行稲作とSRI稲作の栽培管理方法についてまとめる。

表 3-1 Kelara Karalloe 地区における慣行稲作と SRI 稲作の栽培管理方法

	慣行栽培法	SRI
苗 齢	21 日	10 日
移植本数	4-5 本	1-2 本
水管理方法	常時湛水	間断灌溉（3 日湛水 4 日乾燥）
移植間隔	20cm x 20cm	30cm x 30cm
施肥量	UREA 100kg, ZA 50kg	UREA 150kg, ZA 100kg, KCL 50kg
除草回数	3 回	3 回

栽培管理方法における SRI 稲作は、基本に沿ったものとなっている。ただし実際の観察例では、上記の表にあるように、必ずしも一株当りに一本のみの移植ではなかったり、栽培間隔が若干狭かったりするなどの変動はみられた。また施肥量については、SRI 稲作で多くなっており、除草回数は、同じとなっている。

さて、圃場での収量調査によって得られた株ごとの高さ、分げつ数、穂数、穂重、わら重量の平均について慣行稲作と SRI 稲作について比較したものを次の表にまとめた。

表 3-2 稲の生長観測結果比較

	慣行栽培法	SRI
草丈 (cm)	74.6 ± 4.8	90.9 ± 4.5
有効分げつ数	13.5 ± 5.3	30.3 ± 9.0
一株穂数	10.4 ± 4.1	21.0 ± 7.2
一株穂重 (g)	18.3 ± 9.3	67.1 ± 28.5
わら重 (g)	41.7 ± 17.3	90.5 ± 32.9

*慣行栽培法 n = 74, SRI n = 38 の平均および標準偏差

慣行稲作に比較して SRI 稲作では、すべての要素で生長が勝るということが観察された。特に分けつ数では 2 倍以上、穂重にいたっては 3 倍以上という結果であった。

今回の収量調査においては、圃場全体の収量とサンプリングしたエリアからの推定収量の 2 種類について、収量の推計を行った。次の表は、それぞれ調査対象とした水田全体の収量をモミ重量から推計したものである。このデータについても測定時の水分含有量から、14%の水分含有量に換算してある。

表 3-3 収量調査結果比較

	慣行栽培法	SRI
収量 ton ha^{-1}	3.04	7.14
収量増加	135.5%	

収量調査の結果、SRI 稲作によって慣行の 2 倍以上の収量が得られることがみられた。さて、この収量増加のキーを探るために、調査によってえられたデータをもとに収量構成要素についても推計を行った。その結果について以下に示す。

表 3-4 収量構成要素の比較

	慣行栽培法	SRI
m^2 あたり穂数	248	272
1 株もみ数	69	142
m^2 あたりもみ数	17,058	38,589
登熟歩合	65%	63%
千粒重 (g)	30.5	29.1
収量 ton ha^{-1}	3.38	7.05
収量増加	108.6%	

収量構成要素の中でも、SRI 稲作では、一穂当りのモミ数が大きく増加していることが確認できる。また、登熟歩合が慣行、SRI 両方で低い値となっていることが観察された。SRI 稲作、慣行稲作の比較において、登熟歩合、千粒重に大きな変化が見られないことから SRI 稲作による増収は、一穂当たりのモミ数の増加が大きな役割を果たしていると考えることができる。収量構成要素から得られた収量でも SRI 稲作では、2 倍以上の収量をあげていることがみられる。なお収量調査の詳細なデータについては、付録に添付した (付録 4-3)。

3. 1. 2 社会調査結果

本研究では、現在 SRI 稲作に取り組んでいる農家のうち、Kelara Karalloe 地区、Sadang 地区において SRI 稲作と慣行稲作における労働投入量の変化、投入財のうち種籾と肥料の変化について、詳細な聞き取り調査を実施した。調査は、英語とインドネシア語の通訳を介し、事前に調査項目を設定したアンケート用紙を用いてインタビューを行いながらこちらが記入していく方式で行った。なお調査は直接の聞き取りを重視したため、調査時間の制約により少数の農家のみを対象としたものとなった。結果は、Kelara Karalloe 地区において 2 戸の農家、Sadang 地区において 4 戸の農家より、結果を得た。以下に調査により得られたデータを示す。

次の表は、調査対象農家の基本情報である。それぞれ耕作する水田面積、作付けパターン、SRI 稲作と慣行稲作の収量、年齢、学歴、家族数、土地所有形態について尋ねた。

表 3-5 聞き取り対象農家の基本情報 (2006 年 9 月情報)

	水田 面積	作付け パターン	収量 ton ha ⁻¹ *	年齢	学歴	家族数	土地所有 形態
Kelara Karalloe							
A 農家	1 ha	稲一稲	8.0 (6.0)	65 歳	小学校卒	7 人	自家所有
B 農家	1 ha	稲一稲	6.0 (5.0)	35 歳	高校卒	3 人	自家所有
Sadang							
A 農家	0.8 ha	稲一稲	6.0 (4.5)	45 歳	小学校卒	8 人	分益小作**
B 農家	1 ha	稲一稲	6.5 (4.5)	35 歳	小学校卒	4 人	自家所有
C 農家	1.3 ha	稲一稲	6.0 (5.0)	32 歳	高校卒	4 人	自家所有
D 農家	1.5 ha	稲一稲	8.0 (5.0)	45 歳	大学卒	4 人	自家所有

*収量の値は、SRI 稲作と慣行稲作を比較したものである。()内が慣行稲作。

**分益小作とは、地代として収穫の半分を地主に支払う小作制度。

これより、収量に差はあるものの、すべての調査農家について SRI 稲作の導入により、以前の慣行稲作よりも収量が増加しているという結果が得られた。水田面積は、0.8 ha~1.5 ha であり、この 2 地区においては平均的面積の農家を選定している。またすべての調査対象農家では、稲一稲の 2 期作を行い、稲の栽培が不可能な時期には、乾季作物として豆類なども栽培している。これら基本情報を踏まえて、次の労働投入量変化、投入財の変化について確認したい。

まず、労働投入量の変化をみってみる。次の表は、1ha あたりの労働投入量の変化について、以前に実施していた慣行稲作と現在の SRI 稲作について調査したものである。聞き取りは、整地作業、育苗作業、移植作業、栽培管理作業（施肥・防除・除草）、水管理作業、収穫作

業と分けて行った。

表 3-6 1ha あたりの労働投入量の変化

単位 人・日	整地 作業	育苗 作業	移植 作業	栽培 管理 作業	水 管理	収穫 作業	SRIによる 労働増は 負担か？	SRI 導入時 の学習は 負担か？
Kelara Karalloe								
A 農家	M	2	18	10 H	10	L	負担で	負担で
	(M)	(2)	(18)	(10) H	(2)	(L)	ない	ない
B 農家	M	2	20	13	5	L	あまり負担	あまり負担
	(M)	(2)	(20)	(13)	(2)	(L)	でない	でない
Sadang								
A 農家	M	2	22	16	5	L	負担で	負担で
	(M)	(7)	(25)	(6)	(2)	(L)	ない	ない
B 農家	M	2	25	16	5	L	負担で	負担で
	(M)	(4)	(20)	(3) H	(2)	(L)	ない	ない
C 農家	M	2	30	16	1	L	あまり負担	負担で
	(M)	(2)	(20)	(4) H	(1)	(L)	でない	ない
D 農家	M	1	30	4 H	10	L	負担で	負担で
	(M)	(3)	(20)	(2) H	(15)	(L)	ない	ない

*同一農家における SRI 稲作と慣行稲作の比較。()内が慣行稲作における労働投入量

**それぞれの記号は、M = ハンドトラクター利用、L = 稲刈りに労働者を雇い、収量の一定割合で支払う、H = 除草に除草剤を併用、を示す

***栽培管理作業には、施肥、除草、防除にかかる時間を含む。

上の表より慣行稲作と SRI 稲作での労働投入の変化を確認したい。各作業のうち整地作業は、すべての調査対象農家においてハンドトラクターを借り入れて行われていた。また収穫作業は、委託して行い、収量の一定割合を支払うかたちで行われている。そのため労働投入量の変化からは除外して考える。

育苗作業は、SRI 稲作と慣行稲作で、同程度もしくは、SRI 稲作が少ないという結果、また移植作業、水管理作業では、同程度もしくは、SRI 稲作での労働投入量が増加するという結果がみられる。また、Horie et al. (2005)で指摘されるように、除草作業を含む、栽培管理作業では、労働投入量が SRI 稲作で大きく増加していることが確認された。なおここでは、慣行稲作で除草剤を用いて除草作業を行っていた農家が、SRI 稲作では、マニュアルによる除草に切り替えた例がみられ、これを原因として大きく労働投入が増加しているものがある。

調査時に各農家に対して、この労働投入増加は負担となっているか否かについて質問したところ、すべての農家が負担ではない、またはあまり負担ではないと回答している。また合わせて SRI 導入のための学習も負担とはならないと答える農家が多くを占めていた。そのため数字の上で大きく増加している労働投入量であるが、農家の側はそれを大きな負担であるとは捉えていないことがこの調査から理解された。

次に投入資源の変化について確認する。次表は、同様に以前の慣行稲作と現在の SRI 稲作について 1ha あたりの種籾の量と施肥量の変化について質問したものである。

表 3-7 1ha あたりの種籾と施肥量の変化 (2005 年乾季作)

	種籾 (Kg)	肥料 (Kg)			
		UREA	TSP	KCL	ZA
Kelara Karalloe					
A 農家	15	150	100	50	—
	(100)	(100)	(50)	—	—
B 農家	15	200	50	25	25
	(100)	(200)	(50)	—	—
Sadang					
A 農家	10	200	50	50	50
	(50)	(330)	—	—	—
B 農家	10	200	50	50	50
	(70)	(300)	—	—	—
C 農家	10	200	50	50	50
	(50)	(200)	—	—	—
D 農家	10	150	—	—	50
	(80)	(100)	—	—	—

*同一農家における SRI 稲作と慣行稲作の比較。()内が慣行稲作における資源投入量

これによれば、種籾量に関しては、1ha あたり慣行稲作では、50 Kg ~ 100 Kg が用いられるのに対し、SRI 稲作では、10 Kg ~ 15 Kg と 5 分の 1 ~ 8 分の 1 程度にまで節約することが可能となるという結果が得られた。また肥料投入では、SRI 稲作導入により、施肥をおこなう種類が増加するということが上表よりみてとれる。SRI 稲作による肥料投入の減少ということが佐藤 (2006)により指摘されているが、必ずしも肥料投入を削減できるわけではなく、逆に投入する肥料の種類が増えるため総量では、増加がみられるという結果となった。

3. 2 ロンボク島における比較栽培試験結果

3. 2. 1 試験結果概要

本節は、ロンボク島における比較栽培試験の結果を示す。試験は、2007年5月から8月にかけての乾季作である。2007年5月17日にすべてのプロットで移植が行われ、慣行移植法プロット (T1~T4)および対照区 (Control)では、移植後65日前後に出穂、移植後93日、8月18日に収穫が行われ、同様にSRI移植法プロット (S1~S4)では、移植後75日前後に出穂、移植後103日、8月28日に収穫が行われた。

本試験期間には、ロンボク島全土で病害虫が発生し、本試験区も大きな影響を受けている。病害虫の中心はメイチュウ類であり、特にサンカメイガ (*Scirpophaga incertulas*)の発生が多く見受けられた。メイチュウ類は蛾の仲間で、幼虫が稲の茎内部を食害し、穂が白変し実らなくなるという被害を与える。そのため各データは、病害虫の被害を含んだものである。病害虫の被害によって、主に登熟歩合が影響を受け、これにより全プロットにおいて、収量が低下するという被害が見られた。その中でも特にSRI移植法のプロットでの被害が顕著に観察された。この原因については、第4章において検討する。



図 3-1 サンカメイガの幼虫 (IRRI)

3. 2. 2 稲の生長観測結果

ここでは、稲の生育について、草丈、分げつ数、穂重などについて、継続して観察した結果、および、収穫後に計測したデータについて示す。

以下のグラフは、移植後5日毎に、それぞれのプロットにおいて1株あたりの分げつ数、

3.2 ロンボク島における比較栽培試験結果

草丈、養殖の変化を継続して計測したものである。それぞれのデータは、1プロット5株、2反復の計10株平均である。なお詳細なデータについては、付録に添付した(付録3-1, 3-2)。また写真についても付録(付録2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5)を参照のこと。

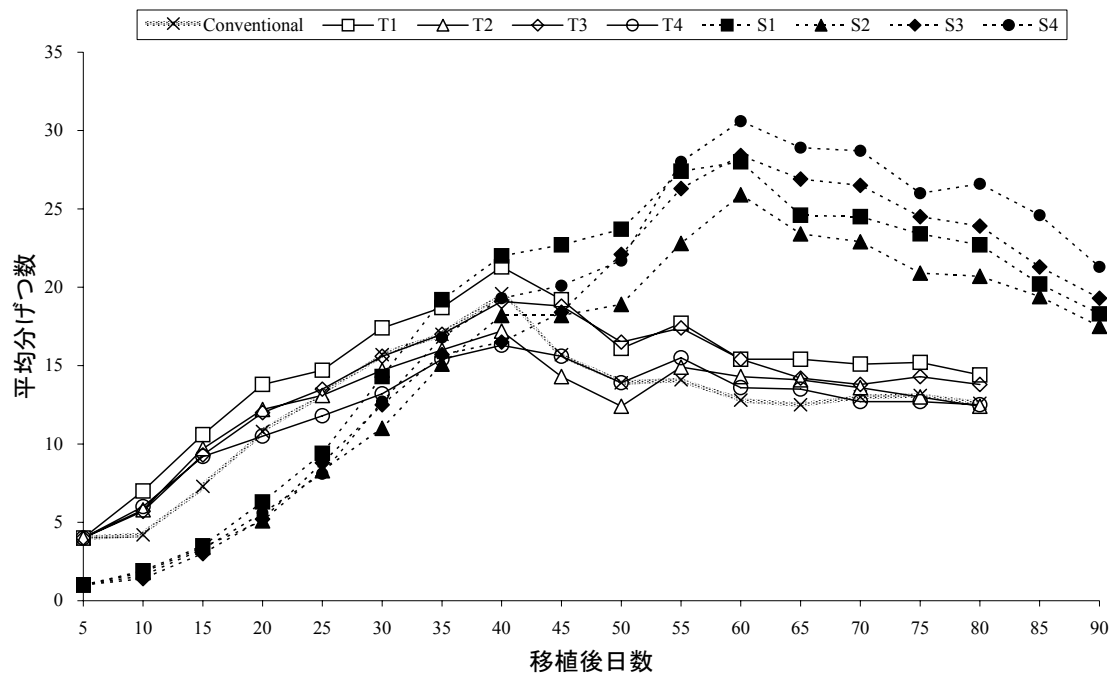


図 3-2 分げっ数の変化

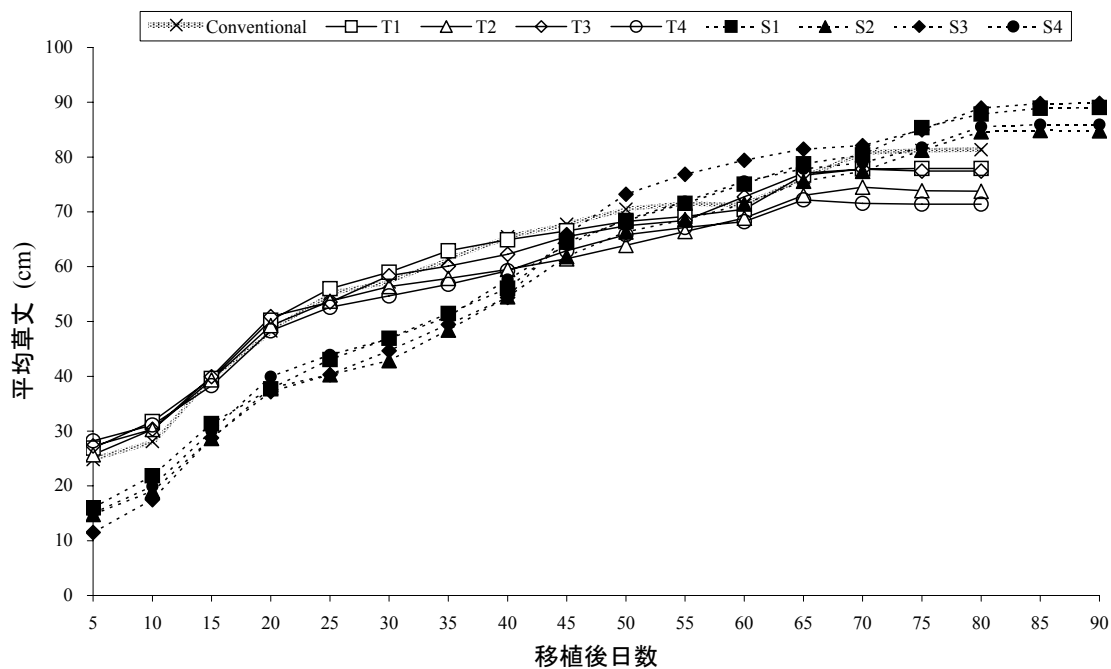


図 3-3 草丈の変化

3.2 ロンボク島における比較栽培試験結果

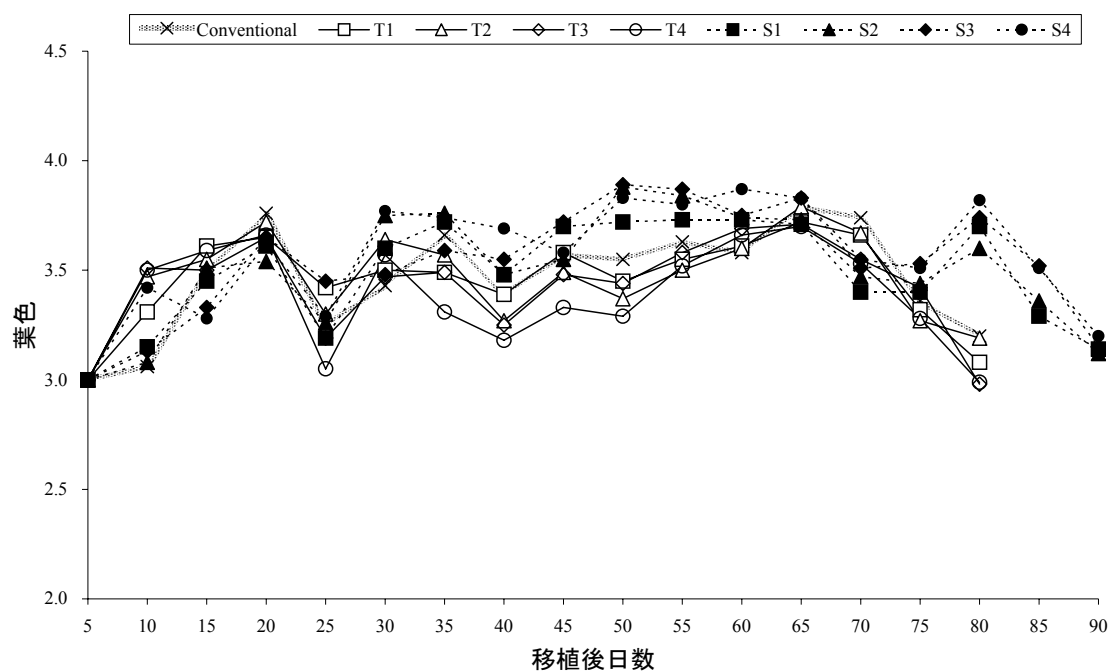


図 3-4 葉色の変化

また、以下の表は、収穫後にそれぞれのプロットで上記表と同じサンプルについて、穂長を含まない草丈、一株分けつ数、一株穂数、一株穂重、根長について計測したものである。なお根のサンプリングにあたっては、30cm 四方、深さ 30cm 程度を掘り根を採取した。

表 3-8 収穫後の稲の生長観測データ

実験処理と灌漑パターン		草丈 (cm)	分けつ数	一株穂数	一株穂重 (g)	根長 (cm)
慣行栽培法						
Control	常時湛水	54.1	9.7	9.5	18.7	22.3
慣行移植法+間断灌漑						
T1	5日湛水 5日乾燥	54.9	12.4	11.9	20.8	18.5
T2	5日湛水 10日乾燥	50.6	10.7	10.3	14.8	20.8
T3	5日湛水 15日乾燥	55.7	12.5	12.1	19.8	19.1
T4	5日湛水 20日乾燥	49.4	10.8	10.2	13.6	18.7
SRI 移植法+間断灌漑 (SRI)						
S1	5日湛水 5日乾燥	65.8	19.8	16.7	44.1	25.0
S2	5日湛水 10日乾燥	62.1	17.0	13.8	38.3	26.9
S3	5日湛水 15日乾燥	66.8	18.8	16.2	36.4	24.4
S4	5日湛水 20日乾燥	62.8	20.8	17.2	34.8	27.1

稲の生長観測における結果を概略する。一株あたりの分けつ数、草丈をみると、ともに生長の中期において、SRI 移植法によるものが、慣行栽培法、慣行移植法を逆転し、収穫後においても生長が勝るという結果が確認された。また、葉色の変化においては、生育期間全般にわたり、それぞれの栽培方法で類似した変化を見せるが、SRI 移植法が比較的濃い葉色となっている。収穫後の一株あたり穂数、穂重、根長では、SRI 移植法によるものが、ともに勝り、一株穂重では、2 倍以上となる結果が得られた。これらの結果は、SRI 移植法と慣行移植法では、面積あたりの株数が異なるため直接収量に結びつくわけではないが、SRI 稲作によるひとつの特徴として捕らえることができるだろう。ここでは、間断灌漑パターンによる大きな差は観察されなかった。

3. 2. 3 収量および収量構成要素

次に、プロット別収量の結果とそれぞれのプロットにおける 3 株の代表株から得られた収量構成要素の結果について示す。

次のグラフは、それぞれの処理ごとにプロットのすべての稲を収穫した後、現地における慣行手法で脱穀、選別、乾燥させ、収量を計測したものである。この値は、穀物水分量 14% のもみ収量であり、また他の計測に用いた株についても加えて補正したものである。

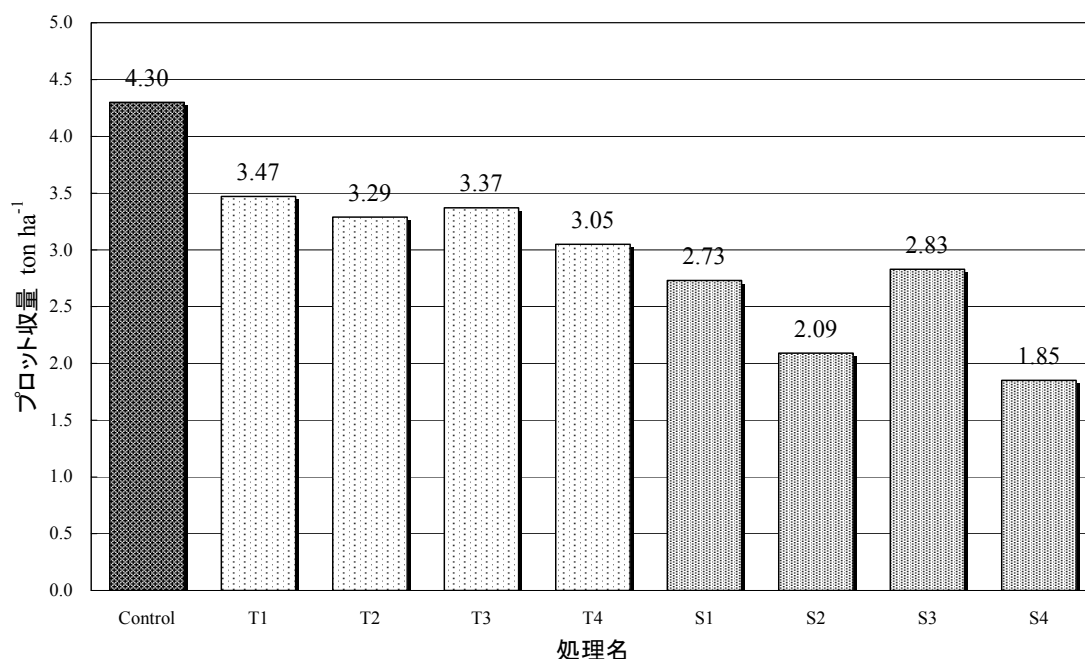


図 3-5 プロット別収量

プロット別収量の結果をみると、慣行栽培法の収量が最大で、次に慣行移植法、SRI 移植法による収量が最低という結果となった。この収量の値は、病害虫による被害が大きく含

まれているため、検討が必要である。プロット別収量をみても間断灌漑パターンによる差は、本試験からは観察されなかった。

次表は、収量構成要素の測定結果について示したものである。これら値は、プロットごとに25株のサンプルを採取し、その中の平均的な3株を代表株として計測することで、求めたものである。

表 3-9 収量構成要素測定結果

実験処理と灌漑パターン		一株 穂数	m ² 当り 穂数	一穂 もみ数	m ² 当り もみ数	登熟 歩合	千粒重	推定収量 ton ha ⁻¹
慣行栽培法								
Control	常時湛水	7.8	196	70	13,767	57.0%	24.3	1.95
慣行移植法+間断灌漑								
T1	5日湛水5日乾燥	9.5	238	56	13,317	71.9%	23.8	2.24
T2	5日湛水10日乾燥	9.8	246	52	12,819	72.5%	23.5	2.20
T3	5日湛水15日乾燥	10.8	271	53	14,426	74.0%	23.4	2.45
T4	5日湛水20日乾燥	11.3	283	56	15,814	73.2%	22.8	2.59
SRI 移植法+間断灌漑 (SRI)								
S1	5日湛水5日乾燥	16.0	178	132	23,393	52.1%	23.7	3.20
S2	5日湛水10日乾燥	13.7	152	123	18,687	49.3%	23.8	2.35
S3	5日湛水15日乾燥	17.0	189	126	23,814	58.5%	24.9	3.49
S4	5日湛水20日乾燥	14.2	157	129	20,341	39.8%	22.9	1.99

収量構成要素の測定結果から観察できる特徴をみてみる。一株穂数では、SRI 移植法が勝っているが、栽植密度が異なることから、面積当り穂数を比較すると、慣行栽培法、慣行移植法が多くなるという結果であった。また、一穂あたりもみ数を比較すると、慣行栽培法、慣行移植法にくらべ SRI 移植法で倍近くの値となっていることが観測できる。その結果面積あたりのもみ数でも SRI 移植法が多いという結果となった。しかしながら、登熟歩合が SRI 移植法では低いため、収量には結びついていないことが観察できる。千粒重には、すべての処理において大きな差はなかった。

これら収量構成要素から推定された収量は、前出のプロットあたりの収量とは、異なる結果となっている。ここでも、移植法による差は顕著に観察できるが、間断灌漑パターンによる影響は少ない結果となった。収量構成要素について、SRI 移植法の登熟歩合が低くなっている点、ここで推定された収量が実際の収量と異なる点については、第4章において再検討する。これら収量の詳細なデータは、付録に添付した (付録 4-1, 4-2)。

3. 2. 4 灌漑用水量

ここでは、灌漑用水量について計測し得られた結果を示す。本試験においては、灌漑用水量を生育期間すべてにわたって計測し、間断灌漑による灌漑用水量への影響を観察した。

次のグラフと表は、生育期間にわたる累積の灌漑用水量、またトータルで使用した灌漑用水量をそれぞれの間断灌漑パターンと慣行の灌漑方法について調査したものである。

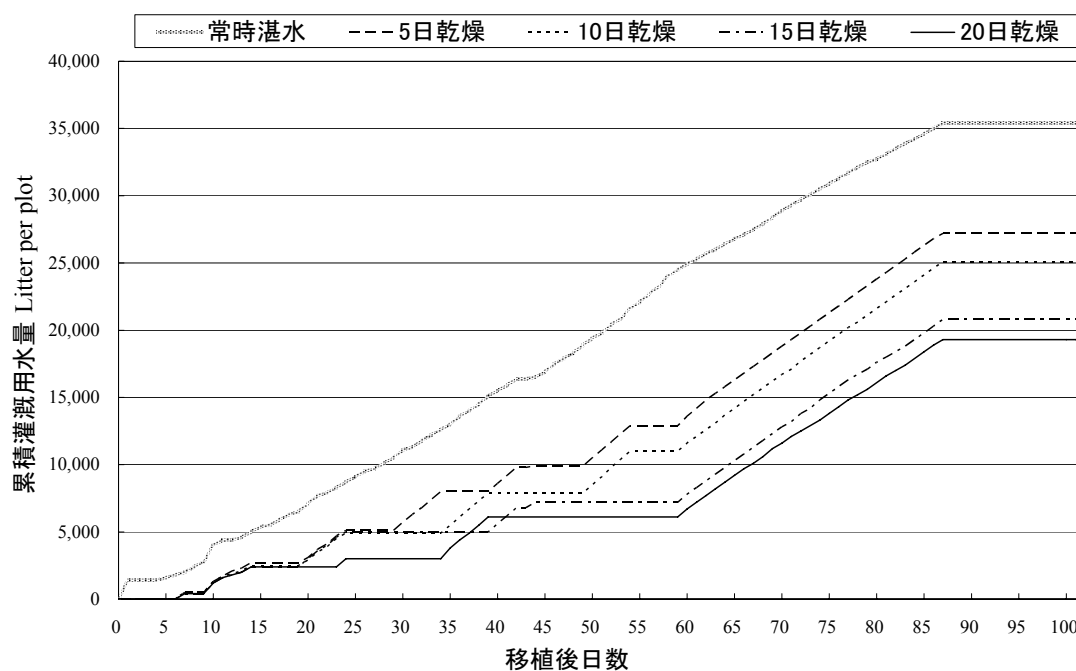


図 3-6 累積灌漑用水量の変化

表 3-10 総灌漑用水量

	間断灌漑				慣行灌漑
	5 日乾燥	10 日乾燥	15 日乾燥	20 日乾燥	常時湛水
mm / day	10.7	9.8	8.2	7.6	15.2
Litter / plot (25m ²)	27,200	25,100	20,800	19,300	35,400
m ³ / ha	10,880	10,040	8,320	7,720	14,160
Ratio (SRI / Conv.)	76.8%	70.9%	58.8%	54.5%	100.0%

これらのグラフと表によれば、トータルでの灌漑用水量は、慣行の灌漑方法と比較し、間断灌漑によるものが、5 日湛水 5 日乾燥のプロットで約 25%、5 日湛水 20 日乾燥のプロットで 45%と大きく削減できることが観察できる。

3. 2. 5 土壌水分および温度

間断灌溉と土壌の乾燥程度を観察するため、土壌水分センサーを用いて、常時土壌水分量を計測、同時に土壌温度についても測定を行った。その結果を以下のグラフに示す。

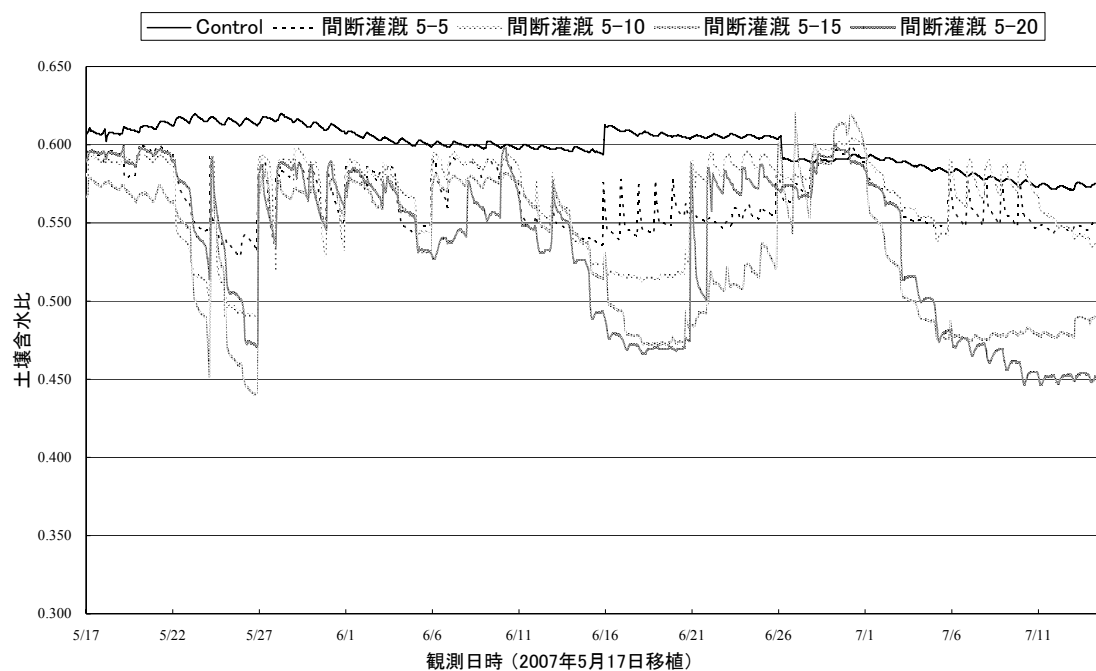


図 3-7 移植後 60 日目までの土壌水分量の変化

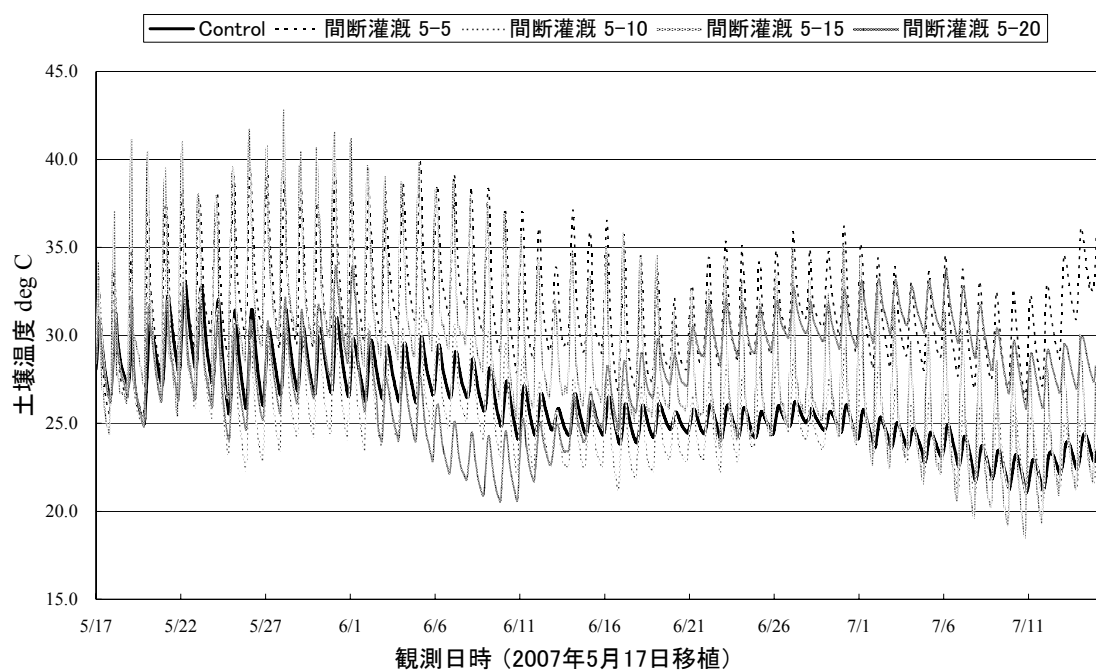


図 3-8 移植後 60 日目までの土壌温度の変化

土壌水分量は、常時湛水のプロットでは、ほぼ一定で推移するが、間断灌溉のものでは、乾燥期間に漸減していき、灌溉の再開とともに水分量が回復することが観察できる。また土壌温度は、常時湛水のプロットでは、温度の日較差が少ないが、間断灌溉をおこなうプロットでは、日較差が比較的大きいという特徴が見られる。

なお、土壌水分、土壌温度、土壌特性、気象条件についての全データは、付録に添付した (付録 5-1, 5-2, 6-1, 7-1)。

第 4 章

考 察



「メイチュウの被害により白変した穂 ～この穂はすべて不登熟もみとなっている～」

撮影場所：インドネシア 西ヌサトゥンガラ州 中部ロンボク

撮影日：2007 年 8 月

4. 1 稲に及ぼす影響

4. 1. 1 結果概要と病虫害被害の検討

本節では、南スラウェシにおける収量調査とロンボク島での比較栽培試験の結果を合わせて、SRI 稲作による稲への影響を考察していきたい。ここではまず、両者の調査結果より確認された事項についてまとめた上で、今回試験において発生した病虫害の被害について検討する。

1) 南スラウェシにおける収量調査

南スラウェシにおける収量調査では、同様の気象条件、土壌条件の下で栽培された稲においてもSRI稲作により、慣行稲作と比べ2倍以上の大きな収量の差を生むことが確認された。このSRI稲作による高収量の特徴づけるのは、一穂あたりもみ数の増加である。また、面積あたりの移植本数がSRI稲作で半分以下と少ないにも関わらず、分けつが盛んであり、 m^2 あたり穂数が同程度となっていることもこの高収量を成しうる要因となっている。ここでは、SRI稲作と慣行稲作の登熟歩合は同程度であった。

2) ロンボク島での比較栽培試験

ロンボク島での比較栽培試験では、病虫害の影響を大きく受けたため、単純に収量を比較することが難しいが、プロットごとの収量比較の結果、慣行栽培 (Control)が最大収量をあげ、ついで慣行移植法+間断灌漑 (T1~T4)、最低収量が SRI によるもの (S1~S4)という結果となった。収量構成要素では、推定された収量が上記のプロットごとの収量とは異なり、慣行栽培 (Control)が低い収量となり、慣行移植法+間断灌漑 (T1~T4)と SRI によるもの (S1~S4)でも大きな差は見られなかった。

収量構成要素の特徴を見ると、南スラウェシと同様にSRI稲作による一穂あたりもみ数の増加がみられたものの、 m^2 あたり穂数では、慣行栽培法 (Control)でSRI稲作と同程度、慣行移植法+間断灌漑 (T1~T4)がSRI稲作よりも多くなった。さらに登熟歩合でSRI稲作が著しく低い値となり、よって収量も低い値となっている。

病虫害による被害状況をSRI区と慣行移植区で比較すると、SRI区においてメイチュウ類の食害により白変した穂が非常に多く確認され、被害が多くなっていることが確認された。また、メイチュウ類による被害以外にもSRI区において欠株が多く見受けられた。

以上の結果よりまず、ロンボク島における比較栽培試験での病虫害被害について検討したい。SRI 区においてメイチュウ類の被害が多く発生した原因は、次の点が類推される。本試験では、移植の日を統一した試験としたため、SRI 移植区、慣行移植区で出穂時期に差が

あり、SRI 移植区での登熟期とメイチュウ類の発生が重なり被害が大きくなった。これは、周辺の圃場と比べて SRI 移植区の出穂が遅いものであったため、被害が集中したとも考えられる。一般の圃場でも、例えば品種が異なるなど、周辺の圃場に比べ生長に差がある場合は、被害が集中しやすい傾向があるため、今回の病害虫被害の原因のひとつだと考えられる。次回以降このような被害を減らすための対策は別に議論したい。

また、SRI 移植区における欠株は、病害によるものと思われるが原因は特定できていない。SRI 区で多く発生した原因は、上記と同様に生育の差によると考えられるが、これ以外にも 1 株 1 本植えであるため、病害また害虫に対して弱いということも考えられる。

これら病害虫の被害により、試験圃場全体で欠株が見られたり、登熟歩合の低下が見られたりと、試験結果に対し大なる影響を及ぼしている。特にプロット別収量の結果は、そのプロットにおける欠株の多少に強く左右されるため、考察における結果として利用することは難しい。対して収量構成要素は、プロットのうち欠株を除いた株のなかから平均的な株を選定し測定した結果であるため、プロット内に欠株がない場合の収量を代表するものであるといえ、考察により適していると考えられる。

上記の理由により、できる限り病害虫被害による影響を取り除き、SRI 稲作と慣行稲作の収量と収量構成要素について議論するため、プロット別の収量ではなく、収量構成要素の分析より得られた結果に注目して、以降議論していきたい。

4. 1. 2 収量と収量構成要素についての考察

ロンボク島での試験により得られた収量構成要素の分析から得られた結果をもとにして、以下では、その結果を統計的に分析し、SRI 稲作と慣行稲作の差、またそれぞれの処理による影響について考察する。次の表は、収量構成要素について得られた結果を繰り返しのある二元配置の分散分析により、交互作用を含めて分析したものである。分析の際には、慣行栽培法を除き、慣行移植法 4 処理と SRI 移植法 4 処理について統計処理を行い、それぞれの間断灌漑パターンによる差、慣行と SRI の移植方法による差、灌漑パターンと移植方法の交互作用による差を検定した。それぞれの項目における値は、サンプル 6 株の平均値であり、併せて標準偏差を示している。

分析の結果、それぞれ m^2 あたり穂数、一穂もみ数、 m^2 あたりもみ数、登熟歩合が有意水準 0.1% で SRI 移植法と慣行移植法について有意となった。それぞれの間断灌漑パターンによる差、交互作用は有意とはならなかった。また千粒重については、差はないという結果であった。

表 4-1 収量構成要素についての統計分析

実験処理	m ² あたり 穂数	一穂 もみ数	m ² あたり もみ数	登熟歩合 (%)	千粒重	推定収量 ton ha ⁻¹
<i>慣行栽培法</i>						
Control	196 ± 19	70 ± 9	13,767 ± 3,039	57.0 ± 19.6	24.3 ± 1.5	1.95 ± 0.83
<i>慣行移植法</i>						
T1 間断灌漑 5-5	238 ± 14	56 ± 13	13,317 ± 3,618	71.9 ± 15.2	23.8 ± 1.3	2.24 ± 0.55
T2 間断灌漑 5-10	246 ± 25	52 ± 5	12,819 ± 1,394	72.5 ± 6.3	23.5 ± 1.7	2.20 ± 0.46
T3 間断灌漑 5-15	271 ± 66	53 ± 11	14,426 ± 4,869	74.0 ± 15.8	23.4 ± 0.7	2.45 ± 0.69
T4 間断灌漑 5-20	283 ± 34	56 ± 12	15,814 ± 3,405	73.2 ± 8.8	22.8 ± 0.9	2.59 ± 0.51
<i>SRI 移植法</i>						
S1 間断灌漑 5-5	178 ± 19	132 ± 34	23,393 ± 4,403	52.1 ± 26.8	23.7 ± 2.5	3.20 ± 2.04
S2 間断灌漑 5-10	152 ± 21	123 ± 34	18,687 ± 5,812	49.3 ± 13.9	23.8 ± 0.6	2.35 ± 1.27
S3 間断灌漑 5-15	189 ± 7	126 ± 25	23,814 ± 4,480	58.5 ± 15.9	24.9 ± 1.0	3.49 ± 1.27
S4 間断灌漑 5-20	157 ± 15	129 ± 32	20,341 ± 4,541	39.8 ± 17.9	22.9 ± 1.0	1.99 ± 1.21
<i>統計分析結果</i>						
灌漑方法	NS	NS	NS	NS	NS	NS
移植方法	***	***	***	***	NS	NS
交互作用	NS	NS	NS	NS	NS	NS

それぞれの結果は、平均値と標準偏差 (n=6)。統計分析は、慣行栽培法を除いて分散分析を行った。統計分析結果に示す記号はそれぞれ、 P=0.05, ** P=0.01, *** P=0.001, NS Not Significant。

統計分析の結果より有意となった項目についてより詳細に検討する。

1) m²あたり穂数は、本試験においては、SRI移植法を用いることにより、減少するという結果となった。この点は、南スラウェシにおける収量調査と結果を異にする点であり、今回試験のみで結論を出すのは尚早であると考えられる。m²あたり穂数と直接影響している1株分げつ数が今回試験では、慣行移植法、SRI移植法ともに少なくなっており、試験圃場になんらかの問題があった可能性も捨てきれない。また、今回の病虫害被害との関連も可能性として残るため、今後の調査、試験による検討を課題としたい。

2) 一穂もみ数とm²あたりもみ数は、SRI移植法により大きく増加するという結果がえられた。これは、南スラウェシでの収量構成要素の結果と同様である。これらの結果を別にグラフとしたのが、以下の2つのグラフである。一穂もみ数がSRI移植法では非常に多いため、栽植密度の低さにも関わらずm²あたりもみ数でも慣行栽培に勝るという結果となった。一穂もみ数の増加、それによるm²あたりもみ数は、収量に直結しており、南スラウェシでの

結果と同じように、SRI稲作の収量を規定する大きな特徴であると考えられる。

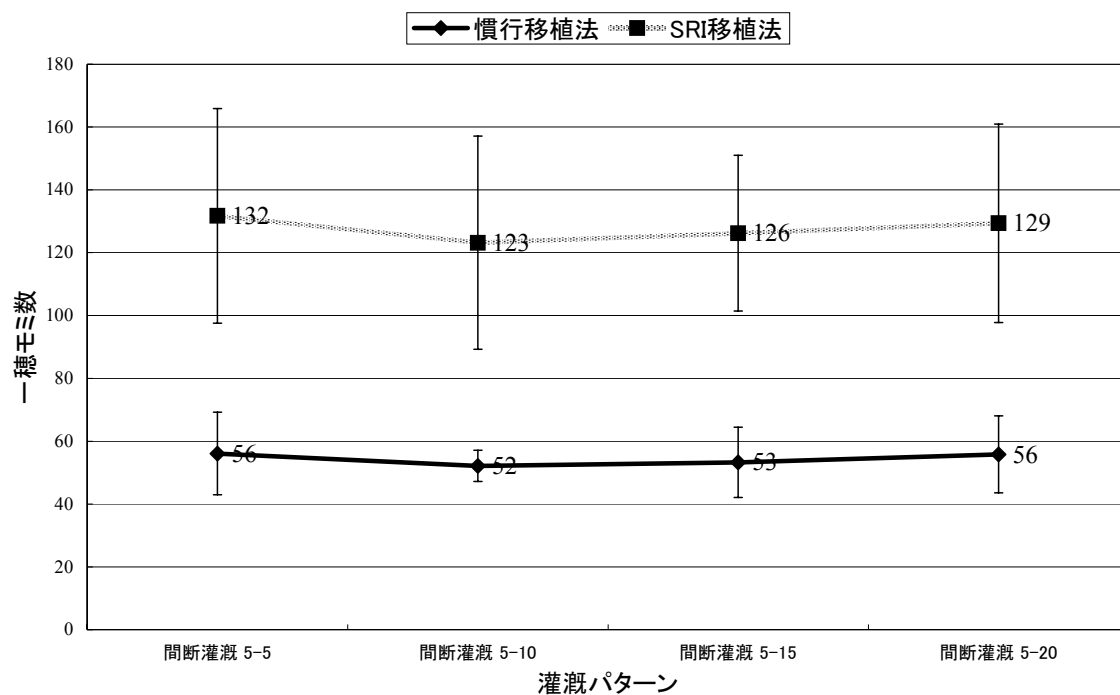


図 4-1 各処理での一穂もみ数

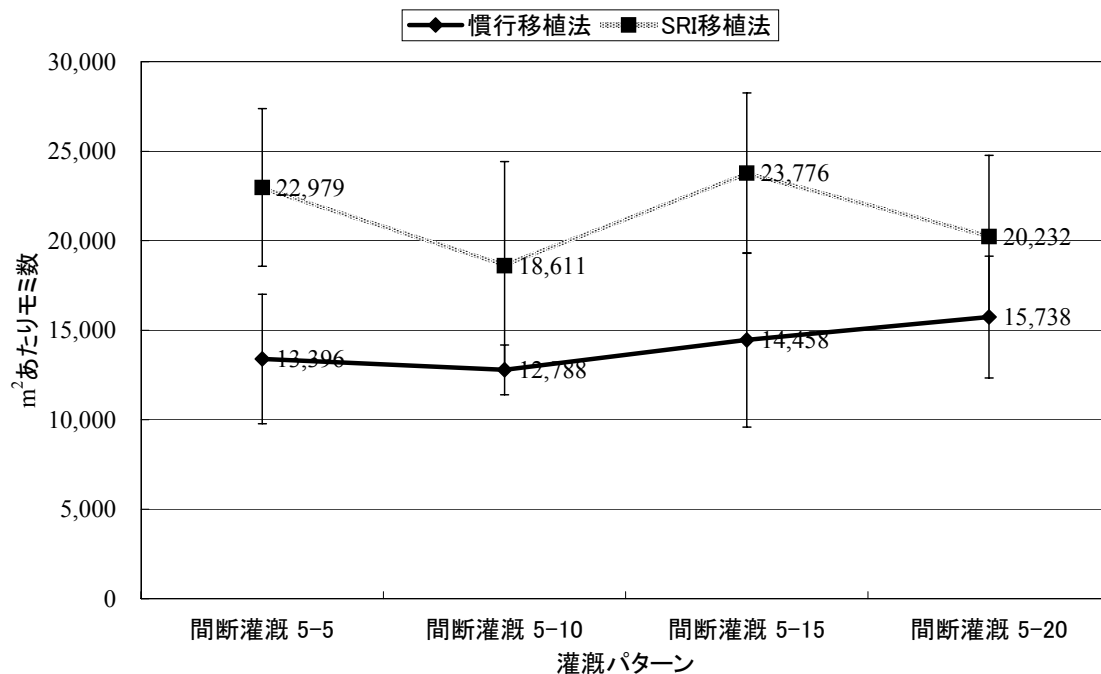


図 4-2 各処理での平方メートルあたりもみ数

3) 登熟歩合は、前に検討の通り病害虫の影響により大きな低下がみられ、SRI 移植法と慣行移植法の差につながったものと思われる。そのためこの結果は、今回の試験にのみ特徴的な要因であり、南スラウェシでの結果では、SRI 稲作、慣行稲作ともに同様の結果となっている。ただし、SRI 稲作により、登熟歩合が低下することを完全に否定する結果ではないため、今後も登熟歩合に関する調査検討を行う必要があるといえる。

さて、今回の試験では、SRI移植法による m^2 あたり穂数の低下、一穂もみ数と m^2 あたりもみ数の増加、また病害虫被害によるSRI移植法での登熟歩合の低下が特徴として確認された。これらにより、慣行移植法とSRI移植法では、以下のグラフに示されるとおり、収量に統計的な有意差は確認されなかった。

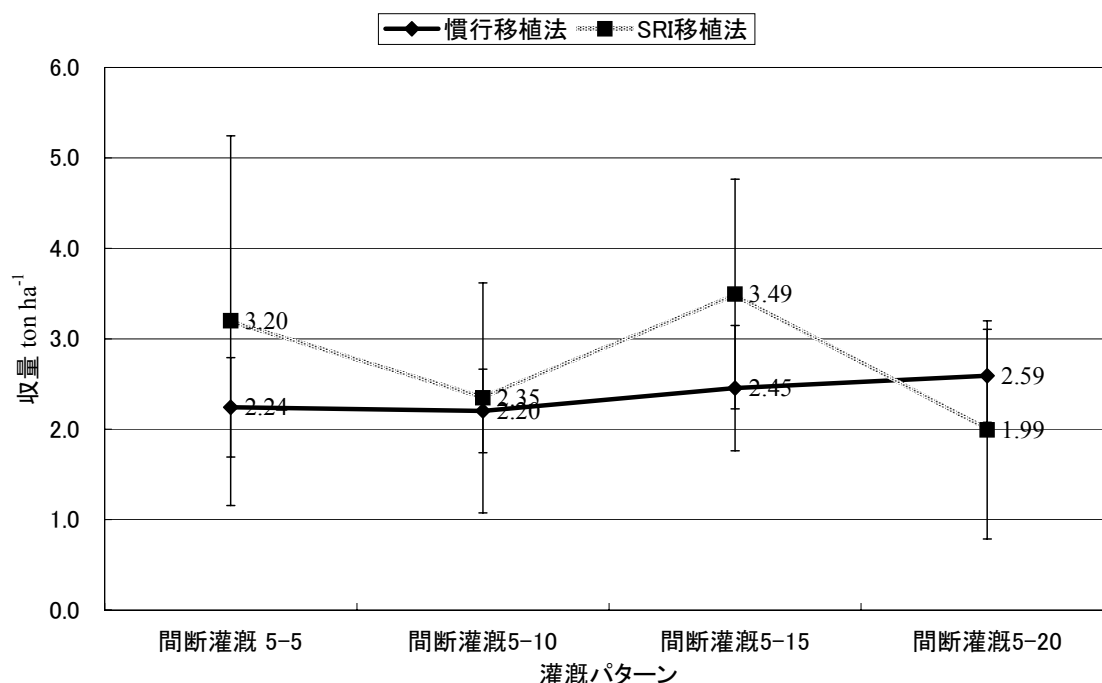
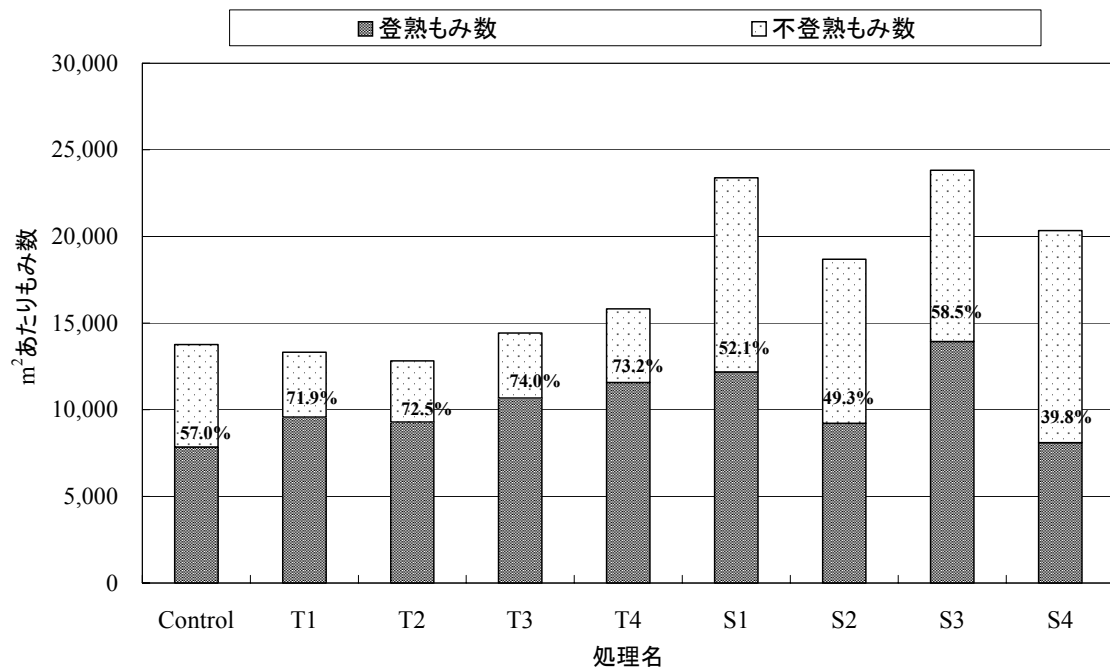


図 4-3 各処理での ha あたり推定収量

ではここで病害虫の被害がなかったものとして、その影響が最大の登熟歩合を除外し、収量に対して検討を加えることとする。以下の表は、 m^2 あたりもみ数と登熟歩合について比較したものである。グラフに示される下部分が登熟もみであり、実際の収量となる部分である。上部分は、不登熟もみであり、大きな割合が病害虫の被害により不稔となったものといえる。これらを比較するともし登熟歩合が慣行移植法とSRI移植法で同程度だった場合に、SRI稲作により収量の増加がみられるだろうことが確認できる。

また、それぞれの灌漑パターンについて、統計的に有意な差はなかったものの、5日湛水20日乾燥のプロットのように比較的長期にわたる乾燥期間を設けてもある一定の収量を得

ることができることがみてとれる。これらプロットでの土壌乾燥状況は、土壌水分計のデータから、処理ごとに大きな差があることが確認されており、SRI 稲作のように、湛水させず灌漑用水を減らしながら収量を得る稲作の可能性があることを示しているといえるだろう。



*グラフのパーセンテージは、登熟歩合（登熟もみ数／全もみ数）を示す。

図 4-4 m²あたりもみ数と登熟歩合の比較

今回の調査および試験から、SRI 稲作により収量が増加する可能性、SRI 稲作による乳苗、疎植、一本植えという移植方法が収量に強く影響していること、また SRI 稲作での収量の特徴は一穂あたりもみ数の増加であることが収量および収量構成要素についての検討から確認された。また、非湛水稲作の可能性について示す結果を得ることができたといえる。次では、この収量増加のメカニズムについて考察を加える。

4. 1. 3 増収メカニズムについての考察

比較栽培試験の結果より一穂もみ数の増加が SRI 稲作による増収のキーファクターとなっていることが理解された。ここでは、一穂もみ数に影響を与える要素を整理することにより、その増収メカニズムについて考察を加えたい。

以下のグラフは、一株の移植本数が一穂あたりもみ数および分けつ数に対して与える影

響を調べたものである。

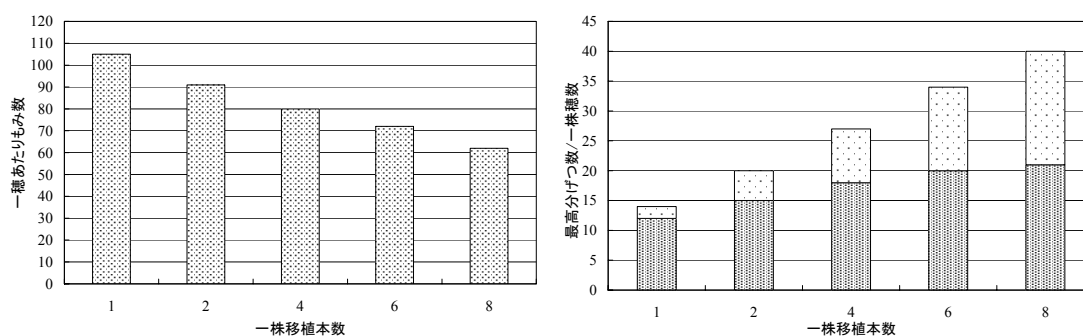


図 4-5 一株移植本数と一穂もみ数、分けつ数の比較 (堀江, 2004)

一株移植本数は、一穂あたりもみ数に対して反比例の関係を持つ。また一株移植本数の増加にともない、分けつ数と一株あたりの穂数が増加するが、有効分けつ数は低下すると知られている (堀江, 2004)。この例では栽植密度が同じため、一穂あたりもみ数と一株穂数を乗じて一株あたりのもみ数としたものが収量と考えられる。これを計算すると、一株一本から順に 1,260、1,365、1,440、1,440、1,302 となり、一株 4 本と 6 本の場合に最大となる。移植本数が過少でも過剰でも収量は低下するため、通常は、最適の移植本数で栽培することが重要である。

では、栽植密度と一穂あたりもみ数の関係を確認してみよう。次のグラフは、面積あたり穂数と一穂もみ数の関係について示したものである。

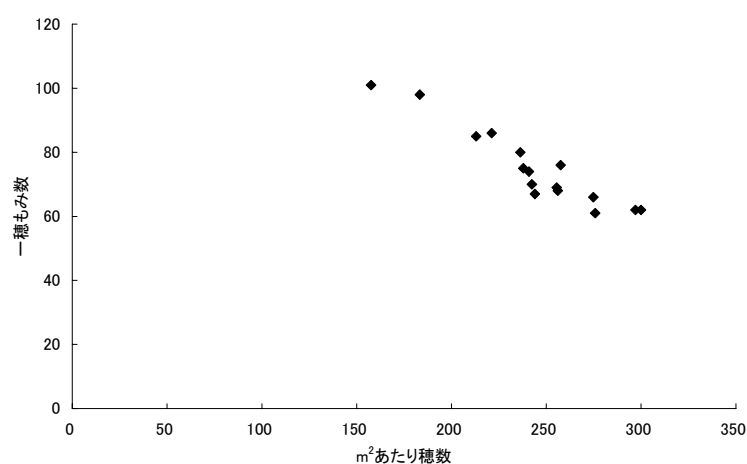


図 4-6 面積あたり穂数と一穂もみ数の関係 (松島, 1977)

上図にみられるように、面積あたりの穂数と一穂あたりもみ数は反比例の関係にあると知られている (松島, 1977)。疎植栽培を行うと一穂もみ数が増加するが、その増加分は大きくない。この例での一穂もみ数をみると、 m^2 あたり穂数が 300 の場合 80、 m^2 あたり穂数が 158 の場合 101 と、栽植密度を半分としても一穂もみ数の増加は 2 割にとどまる。これらを乗じ面積あたりのもみ数としたものが収量とみなせるが、 m^2 あたり穂数が 300 の場合 2,400、 m^2 あたり穂数が 158 の場合 1,738 となり、粗植栽培による減収がみられる。また、過剰な密植も登熟歩合の低下をもたらすため好ましくないため、この場合も適度な間隔での栽培が好ましいとされている。

では、SRI 稲作による一穂もみ数と面積あたりの穂数の関係を上記グラフと同じもので確認してみよう。以下は、ロンボク島における比較栽培試験と南スラウェシでの収量調査における収量構成要素の分析から得られたデータをプロットしたものである。

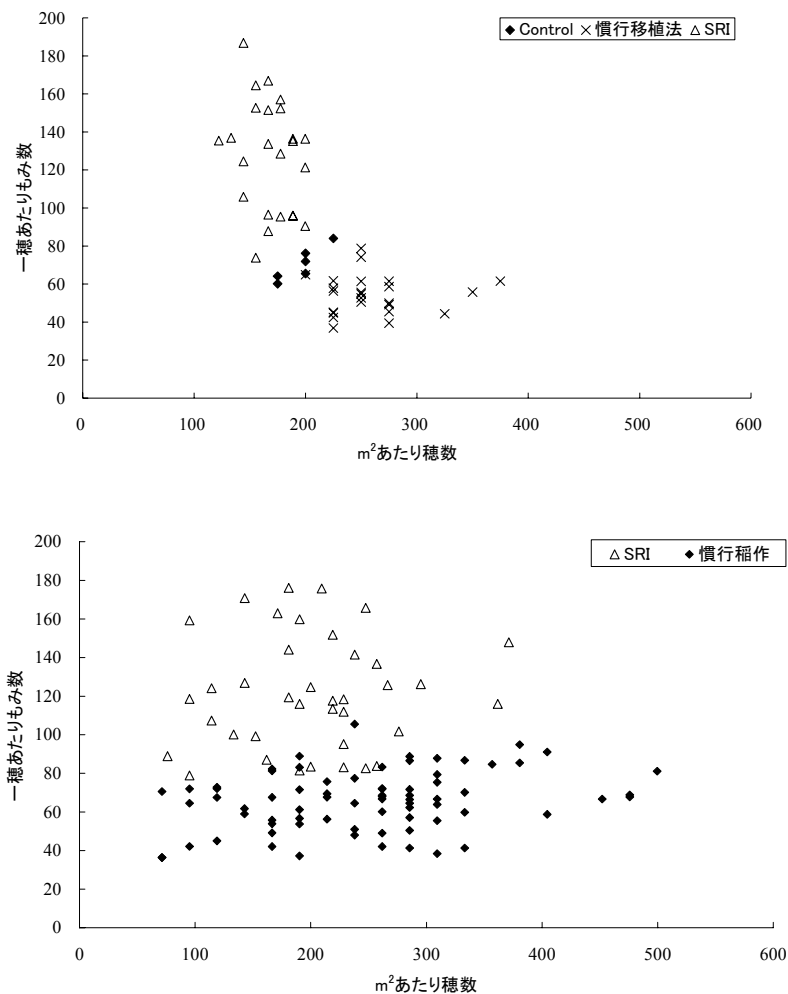


図 4-7 本試験での面積あたり穂数と一穂もみ数の関係

ロンボク比較栽培試験（上）と南スラウエシ収量調査（下）

このグラフによれば、SRI稲作によるものは、特に南スラウエシのデータにおいて、一穂あたりもみ数が非常に多く、また m^2 あたりの穂数でもより密植の慣行稲作に対して遜色がないことが観察できる。一穂もみ数と m^2 あたりの穂数に通常みられる反比例の関係がここではみられず、分けつ数とそれにとまなう一株穂数、一穂あたりのもみ数がSRI稲作によりともに増加していることがわかる。これは前述のような一本植え、疎植栽培のみからは、見られない結果である。そのため、SRI稲作を構成する技術要素の中でも特に乳苗移植が大きなファクターとなり、その他の要素との相乗効果を発揮したものではないかと考えられる。これらのことから、SRI稲作による増収効果は、次の2点両面からによって成しえられるものではないかと言えるだろう。

1) 間断灌漑と乳苗移植による初期分けつの活性化

乳苗は初期の分けつ能力が高いことが知られている。これによって、早い段階で十分な分けつ数を達成することが可能となり、一株あたり穂数の向上に対して貢献していると考えられる。また、この際に間断灌漑による土壌への酸素供給がこのことに有効に働いている可能性がある。

2) 乳苗移植と疎植による一穂もみ数の増加

乳苗移植と疎植を組み合わせた SRI 稲作では、一穂もみ数の増加が著しい。このことより、乳苗移植のポテンシャルを十分に発揮するために疎植一本植えを組み合わせることが適していると考えられる。

今回の試験のみからでは、SRI 稲作の収量を規定する要素について詳細に検討することは難しいが、乳苗移植の重要性について知ることができたと考えられる。今後、乳苗に着目した試験をさらに行っていく必要があるのではないだろうか。

4. 2 灌漑用水量に及ぼす影響

4. 2. 1 灌漑用水量の削減効果

本節では、SRI 稲作による間断灌漑が灌漑用水量の削減に及ぼす効果について検討する。以下にロンボク島での試験により確認された総灌漑用水量について、間断灌漑パターン別に表したものを示す。

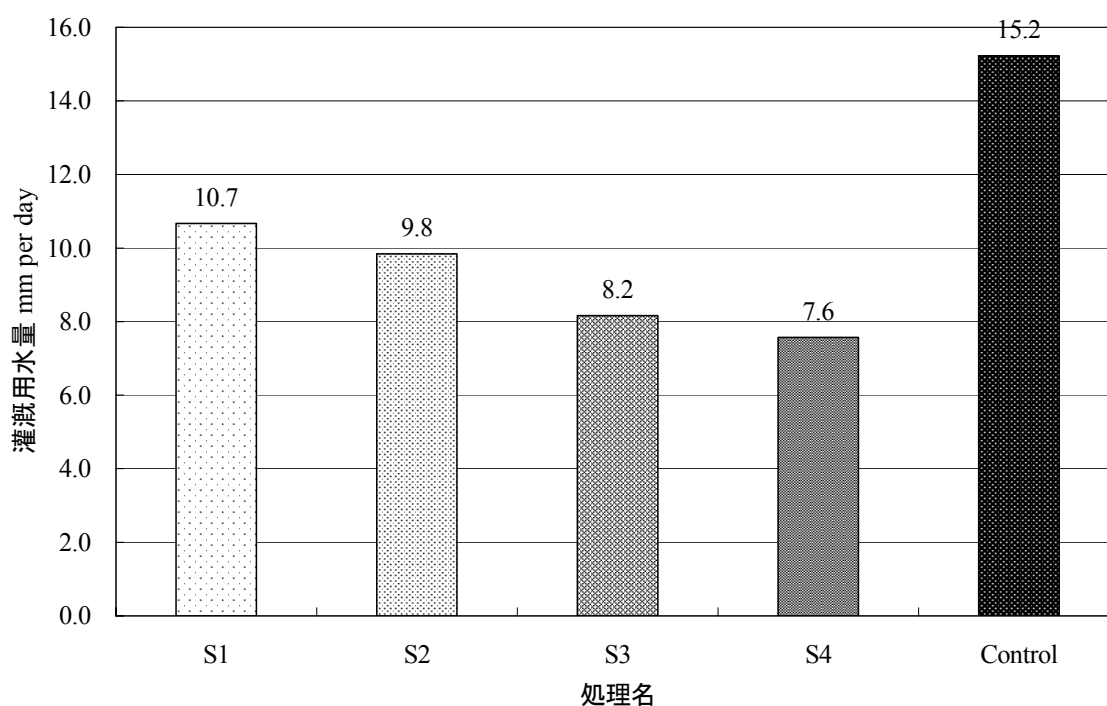


図 4-8 間断灌漑パターンと灌漑用水量の比較

上表によれば、間断灌漑により常時湛水に比べ確実な灌漑用水量の削減を成すことができると理解される。間断灌漑における乾燥期間に灌漑用水量は依存し、総用水量を比較すると、5 日湛水 5 日乾燥のプロットで慣行の常時湛水と比べ 23.2%、10 日乾燥のプロットで 29.1%、15 日乾燥のプロットで 41.2%、20 日乾燥のプロットでは、45.5%の用水量削減を達成可能であった。

4. 2. 2 用水量削減にともなう二次的効果

ここでは、圃場試験によって明らかとなった SRI 稲作による灌漑用水量削減が実現する二

次的効果について検討する。灌漑用水削減によって付随する効果として次の点を指摘したい。

1) 乾季における作付面積の増加

SRI 稲作導入により、乾季において水が不足する灌漑地区において稲の作付面積を増加させ、全体での収量を向上させることが可能となる。また、余剰用水を用いて豆類など稲のかわりに乾季に栽培される作物を作付けすることもできるようになり、農家の所得向上につながると思われる。次の表において南スラウェシにおける調査対象地である Kelara Karalloe 地区で SRI 稲作を導入した場合の試算を行った結果を示す。総面積約 7,000ha の Kelara Karalloe 地区では、乾季には 1,200ha のみでしか稲作を行うことができない。乾季において SRI 稲作導入面積を増加させることで、最大 300 ha で追加的に耕作が可能となり、収量が倍増することが理解できる。

表 4-2 SRI 稲作導入による作付面積の増加例 (Kelara Karalloe 地区)

慣行稲作面積 ha	SRI 稲作導入面積 ha	追加耕作可能面積 ha	総収量 ton
1,200	0	0	4,800
1,100	100	25	5,200
1,000	200	50	5,600
900	300	75	6,000
800	400	100	6,400
700	500	125	6,800
600	600	150	7,200
500	700	175	7,600
400	800	200	8,000
300	900	225	8,400
200	1,000	250	8,800
100	1,100	275	9,200
0	1,200	300	9,600

*仮定として、SRI稲作の収量 7 ton ha^{-1} 、慣行稲作の収量 4 ton ha^{-1} 、SRI稲作導入により 25%の灌漑用水量削減が可能と設定した。

2) 地下水灌漑によるポンプ運転費用の削減

地下水により灌漑を行う地区では、地下水をくみ上げるポンプを共有し、灌漑量に合わせて運転費用を支払うというかたちをとっている場合がある。このような地区において、灌漑用水量を削減できれば、直接稲作の生産費を抑えることが可能となる。

3) 灌漑施設小規模化の実現

ため池や水路などの灌漑施設を設計する際には、地域における用水量を推計し規模を決定するが、SRI 稲作を灌漑開発計画に組み込むことで、はじめから小規模な灌漑設備による計画を実現することが可能となる。

以上確認したように SRI 稲作により、灌漑用水量の削減が実現され、様々な付随的効果を生むことが理解された。SRI 稲作では、その増収効果のみが注目され中心として議論されているが、灌漑用水量の削減により、増収に勝るとも劣らない効果が得られることは、SRI 稲作の大きな可能性といえるだろう。

4. 3 農家への影響

4. 3. 1 農家経済への影響

本節においては、SRI 稲作とその導入にともなう肥料、労働など資源投入量の変化を概観、検討し、農家経済への影響について考察する。まず、南スラウェシにおける農家への聞き取り調査で把握できた資源投入量の変化についてまとめる。

1) 種籾量の削減

SRI 稲作の導入により、使用する種籾の量を 5 分の 1 から 8 分の 1 程度まで削減することが可能となることが明らかとなった。種籾は慣行稲作で生産費の約 10%を占めているため、削減にともなう効果は大きいといえる。これにより、従来は高価で購入の難しかった高品質の種籾を購入できるようになったという農家もみられた。

2) 肥料投入の多様化

肥料投入を削減できるといわれる SRI 稲作だが、本調査では一部の農家において肥料投入の減少がみられたものの、使用する肥料の種類が増えるため、全体としては、投入量また費用が増加していることがみられた。また、施肥量に関する調査時に施肥量の決定方法と施肥時期について合わせて質問したところ、農民が肥料の使用量を決定する場合に、慣行稲作では、いわば経験的に量を決定しているが、SRI 稲作では、地方農政局によって推奨されている施肥量をもとに、肥培管理を行っているということが明らかになった。同時に、慣行栽培では、移植後 20 日程度において、一度に施肥を行い、その後生育の度合いに合わせて一週間後程度に追肥を行うが、SRI 稲作では、移植後数回に分けた合理的な施肥管理が行われていることも調査結果としてみられた。これらの推奨される施肥方法について慣行稲作を行う農民が知らなかったわけではなく、SRI 稲作の導入に伴ってこれらに従った稲作を行うようになったということが明らかとなった。

3) 労働投入量の増加

SRI 稲作にともない、特に除草、施肥などの栽培管理、また水管理にかかる労働量が増加することが調査よりみられた。しかしながら同時に、農家がこれら労働投入に対して負担とは感じていないということも聞き取りより理解された。SRI 稲作を行う際には、労働投入の増加が隘路となり普及は難しいという指摘 (Horie et al., 2005)があるが、実際に導入している農家では、労働投入の増加を受け入れ可能であると考えていることがわかる。

これらの変化を踏まえ、聞き取り調査を行った Sadang 地区の B 農家を例にとり、SRI 稲

作導入にともなう稲作生産費および農家所得の変化について分析を行った結果を次の表に示す。以下では、同一の農家において、以前に行っていた慣行稲作と新たに導入した SRI 稲作での 1 シーズンの稲作生産費の変化をまとめた。

表 4-3 農家経済分析 (Sadang 地区 B 農家)

			収量 (Kg)		稲作収入 (Rp.)	
			単価(Rp.)	SRI 稲作	慣行栽培	
収量			1,700	6,500	4,500	11,050,000 7,650,000
			投入量		稲作コスト (Rp.)	
			単価(Rp.)	SRI 稲作	慣行栽培	
投入財	種籾(Kg)		3,750	10	70	37,500 262,500
	UREA(N)		1,050	200	300	210,000 315,000
	TSP(P)		1,500	50	0	75,000 0
	肥料(Kg)	KCL(K)	1,800	50	0	90,000 0
	ZA(Zn)		950	50	0	47,500 0
	農薬	殺虫剤	35,000	2	2	70,000 70,000
	(Unit)	除草剤	17,000	0	3	0 51,000
	水利費		36,500	1	1	36,500 36,500
	運送費		4,000	65	45	260,000 180,000
投入計						826,500 915,000
労働	自家労働	育苗	20,000	2	4	40,000 80,000
	(M/D)	栽培管理	20,000	16	3	320,000 60,000
		水管理	20,000	5	2	100,000 40,000
	雇用労働	田植え	20,000	25	20	500,000 400,000
	(M/D)	稲刈り	賃金は収量の 14%で支払う			1,547,000 1,071,000
	機械借入	整地作業	700,000	1	1	700,000 700,000
労働計						3,207,000 2,351,000
生産費						4,033,500 3,266,000
総計						
農家所得						7,016,500 4,384,000

*乾季作について同一の農家での慣行稲作と SRI 稲作の 1 ha あたり収入および生産費を比較

**2008 年 1 月現在 Rp.100 = 約 1.3 円

農家経済の分析から、把握される特徴について以下にまとめる。

1) 米の販売収入増加

SRI稲作導入にともない収量が増加するため、米の販売収入増加がみられる。今回の例では、収量が 4.5 ton ha^{-1} から 6.5 ton ha^{-1} となり、これにより Rp. 3,400,000 の収入増となっている。

2) 投入財の総費用の減少

収量増加にともない米の輸送費が増加し、肥料の種類が増えているため肥料にかかる総費用も増加がみられるが、種籾量の減少によって、トータルでの投入財コストは減少が見られる。種籾にかかる費用は、Rp. 262,500 から Rp. 37,500 と 7 分の 1 になり、生産費の減少に大きな役割を果たしていることが理解できる。投入財にかかる費用の分析からは、肥料投入が増加するものの、SRI 稲作導入で大きな生産費の増加はみられないため、SRI 稲作の有効性を示すものであると考えられる。

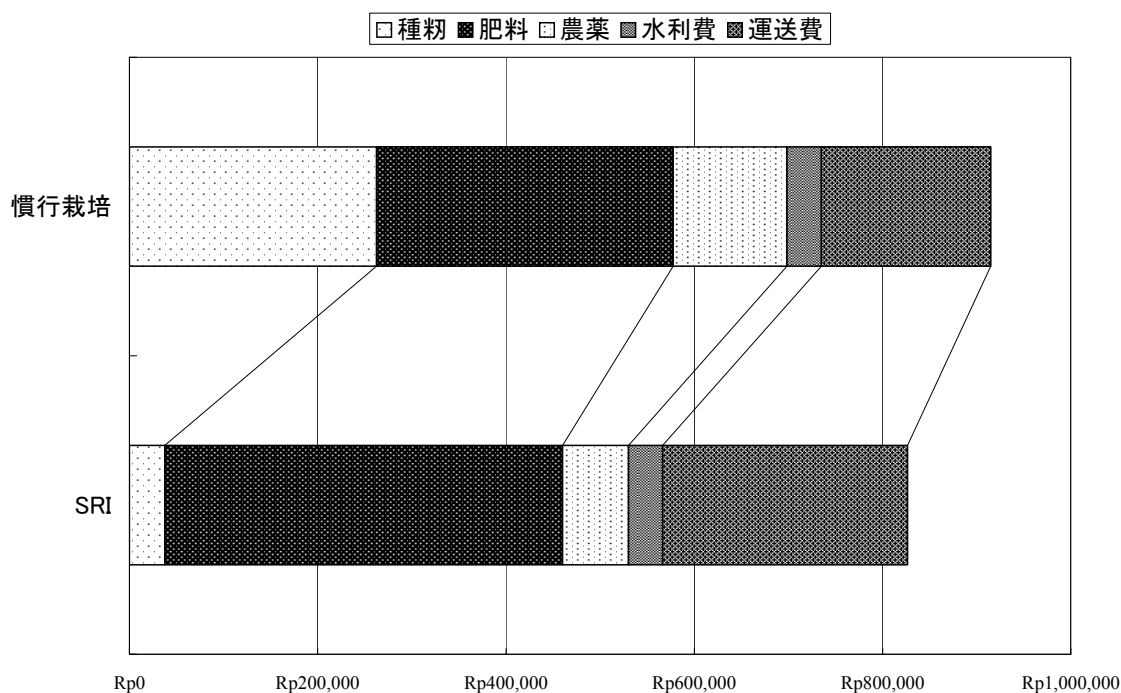


図 4-9 投入財にかかる費用の比較

3) 労働投入費用の増加

労働投入にかかる総コストは、SRI 稲作導入にともない Rp. 2,351,000 から Rp. 3,207,000 と大きく増加している。費用増加のうち Rp. 500,000、約 60%と大きな割合を占めているのが、SRI 稲作の収量増加による稲刈り作業の賃金支払いであることがわかる。費用増加のう

ち残り約 40%は、自家労働の増加であり、栽培管理および水管理にかかる時間の増加によるものである。労働投入にかかる費用増加は、SRI 稲作による負の側面であるが、それ以上の収量増がみこめるため、農民は積極的にこの負担増を受け入れていると考えられる。

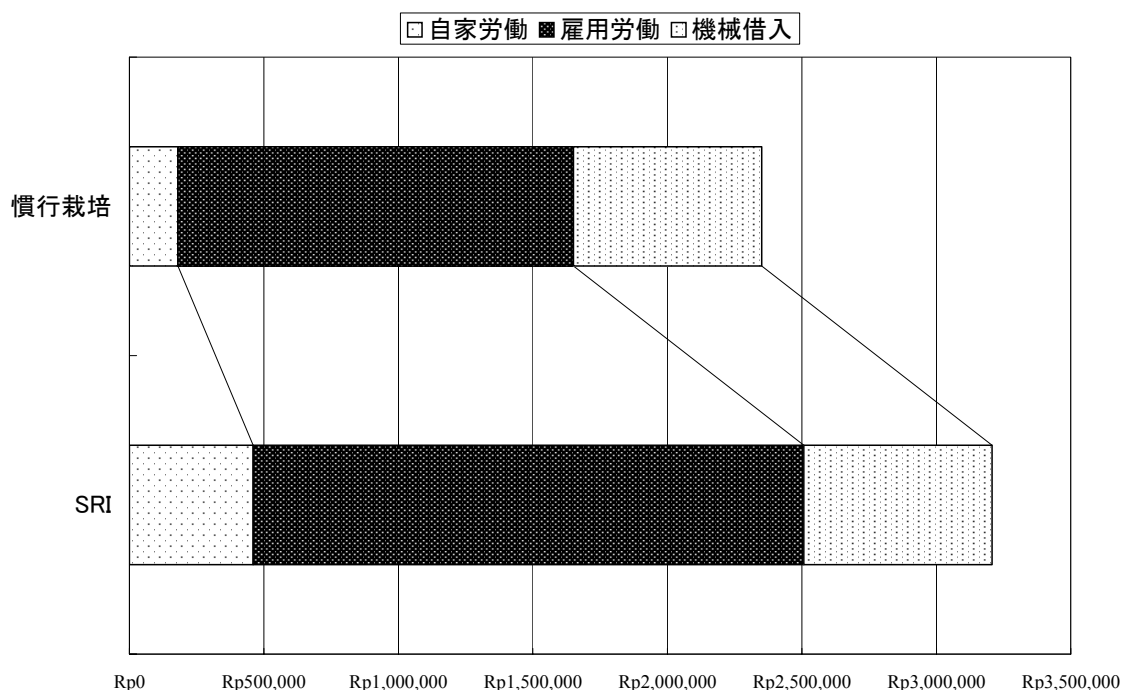


図 4-10 労働投入にかかる費用の比較

4) 稲作による農家所得の増加

SRI 稲作により、上述のように労働投入にかかる費用を中心として生産費の増加がみられるものの、米の販売価格に比べその差は大きなものではなく、結果として稲作による農家所得は、Rp. 4,384,000 から Rp. 7,016,500 と約 60%の増加がみられた。

4. 3. 2 農民意識への影響

SRI 稲作の導入により労働投入や肥料投入の変化、また所得向上という農家経済への影響が確認されたが、聞き取り調査の中で農民の意識変化にも SRI 稲作が影響を与えているのではないかという結果が見られた。ここでは、SRI 稲作による農民の意識変化について聞き取り調査の結果を見ながらまとめてみたい。

1) 施肥量と施肥時期

SRI 稲作では、肥料の種類が多様化、施肥時期が適正化することが観察された。また、SRI 稲作導入により、推奨される肥料基準への関心向上がうかがわれた。これらのことは、SRI

稲作導入によってこれまで関心の薄かった施肥管理という作業に対して、収量増というインセンティブによって関心が向くようになり、施肥量、施肥時期ともに適切な管理を行うようになった結果であると考えられる。単に施肥改善の方針を示すよりも SRI 稲作という目に見える方法によって示された指針は、農民にとっても実行しやすいものである。SRI 稲作の持つ効果は、肥料の削減ではなく、“適切な量”、“適切な時期”の施肥が行われるようなインセンティブを農民に対して与えるということにあると指摘できる。

2) 除草作業

前述のように SRI 稲作導入により除草にかかる作業時間増加が指摘されているが、これは本調査により農家の大きな負担とはなっていないことが確認された。逆に慣行稲作に比べ、定期的かつ適切な除草作業が行われる SRI 稲作では、結果として雑草の影響が少なく、稲の生長がよいことがみられる。かつ SRI 稲作は、広い間隔で正条植えされるため、除草作業の効率も向上する。SRI 稲作による除草作業時間の増加は、SRI 稲作により農民が負担を強いられているものではなく、農民が選択して作業時間を増やしていると考えられ、ここに意識の変化をみることができる。

3) 灌漑施設管理

収量増による同様のインセンティブは、水管理作業にかかる時間の増加から観察されるように、灌漑設備維持管理に対する意識の向上にも働いているとみられる。これは、SRI 稲作導入によって灌漑設備管理の重要性がさらに高まり、増収という目標とあいまって、農民の意識を変化させたものであると予想できる。灌漑施設は、建設されても定期的な水路の改修、土砂等の除去などを行わなくては、適切に維持されない。途上国においては、特にこの灌漑設備の維持管理が重要であるが、関心の低さから適切に管理されない状況が多く存在している。SRI 稲作を導入している農家からは、灌漑施設管理への関心の高さがうかがえ、定期的な維持管理作業への参加が確認された。今回調査のみでは、必ずしも SRI 稲作の導入が灌漑設備管理の意識向上へ直結していると結論することはできないが、この点に着目した調査を行うことで SRI 稲作の効果をより詳しく検証することが可能となるだろう。もし、この効果がみとめられるのであれば、技術的灌漑が必要である反面、SRI 稲作が同時に用いられることで、水資源節約による灌漑用水の有効利用、灌漑設備の適切な管理などが付随的に実現されることは、SRI 稲作の大きなアドバンテージとなりうるだろう。

4. 3. 3 農家と SRI 稲作のリスク

ここでは、実際の農家において SRI 稲作を試みる上で予想されるリスクについて検討することとし、SRI 稲作を構成する技術要素別に危険要因と起こりうる確率またそれらを回避、低減させる方法について考察する。ここで扱うリスクとは、収量に関連し、慣行稲作では

起こりえない、起こる確率が低い、また起きたとしてもその危険度が小さいもので、SRI 稲作によりそのリスクが高まると考えられるものである。

1) 乳苗移植によるリスク

乳苗移植は前述の通り 10 日前後の若く小さな苗を用いた移植方法である。この苗には、胚乳に 50%程度養分が残存しており、このことにより初期の生育を向上するものである。乳苗移植を用いた場合、移植直後の苗は非常に小さく、また養分が残っているため、ねずみやジャンボタニシ（スクミリンゴガイ）等の食害を受け欠株が生じるリスクが高まる。このことは直播でもみられるが、移植栽培の慣行稲作では、苗が十分に生長しているため、被害が少ない。また SRI 稲作でも十分に生長すると被害は少なくなる。

2) 一株一本植えと疎植栽培によるリスク

前述の欠株に関連し、一株一本植えのためひとつの苗が病虫害などにより被害を受けると代替して生長する苗がないため欠株となりやすい。さらに、SRI 稲作では、面積あたりの株数を少なくし、一株あたりの収量を多くする疎植栽培を行うため欠株が生じた場合に収量の低下割合が大きくなる。

3) 間断灌漑によるリスク

SRI 稲作は間断灌漑を行い、乾燥期間を設ける稲作方法であるが、灌漑設備の故障や上流での過剰取水などで水が来なくなった場合に、過剰乾燥となり稲が枯れてしまうというリスクが高まる。

これらリスクに対し、1) 2) で述べた欠株については、①移植に用いる苗以外に予備の苗を用意しておき補植を適切に実施すること、②ねずみ等への対策を実施すること、によりその収量に与える危険性を低下させることができる。また、3) の間断灌漑によるリスクは、異常気象などによる場合を除き、①灌漑施設の維持管理を適切に行うこと、②水利組合による取水ルールを徹底すること、により対応が可能である。

農家は、収量低下につながるリスクを敏感に感じ取り、不安感を覚えるため、SRI 稲作実施にあたっては、リスクの危険性を低下させ、不安感を解消するような普及、指導方法を取り入れることが必要と考えられる。例えば、SRI 稲作導入により収量低下が起こった場合にそれを保障するしくみ、灌漑管理や補植の徹底を含めたパッケージでの指導などを考えることができる。普及方法の検討は、本研究の範疇を超えるため深くは踏み込まないが、SRI 稲作の普及方法というテーマでの研究の可能性も大いにあると考えられる。

第 5 章

結 論



「Norman Uphoff による SRI 稲作講演会 ～SRI 稲作研究は始まったばかり～」

撮影場所：東京大学 弥生キャンパス 一条ホール

撮影日：2007 年 7 月

5. 1 持続的農村開発と SRI 稲作

5. 1. 1 本研究の成果

本研究では SRI 稲作を、増収と同時に資源節約を成し遂げる新たな稲作技術にとらえ、特に省資源型稲作という特性を重視した実証的検討を行った。ここでは、本研究を通じて明らかとなったことがらについてまとめることで本研究の成果を確認する。

1) 技術的検証における成果

技術的検証では、南スラウェシでの収量調査に加え、ロンボク島において収量と収量構成要素に着目した基礎的比較栽培試験を実施することができた。南スラウェシにおける収量調査およびロンボク島における比較栽培試験より、①SRI 稲作が増収を実現する可能性、②乳苗移植を含む SRI 移植法が増収に効果を果たすこと、③SRI 稲作の収量は一穂あたりもみ数の増加に特徴づけられること、が理解された。これらの結果は、SRI 稲作に対するさらなる検証においての基礎データとなりうるものであり、有効に活用可能と考えられるものである。

2) 灌漑用水節約の検証における効果

SRI 稲作を用いた場合の灌漑用水量測定をロンボク島での比較栽培試験において実施した。SRI 稲作の間断灌漑による節水効果は、さまざまに主張されているもののその実測を行った例は少ない。本試験において正確な実測によりその節水効果が確かめられたことは、大きな結果といえる。また合わせて節水による付随効果を検討し、その有効性についても確かめることができた。

3) 農家への影響検証における効果

SRI 稲作を導入している農家に対する聞き取り調査を通じて、SRI 稲作導入による投入資源、労働投入量の変化、農家経済への影響、栽培管理に対する意識変化について、その影響を確認した。この調査から、SRI 稲作導入により、①種籾量の削減を可能とすること、②適量適時の施肥を促すこと、③労働投入量の増加をもたらすが農家の大きな負担とはならないこと、④農家所得の増加をもたらすこと、が明らかとなった。加えて、SRI 稲作が良好な栽培管理や灌漑設備管理をおこなうインセンティブとなっている可能性について知ることができた。

5. 1. 2 SRI 稲作の有効性についての再検討

本研究での成果を踏まえ、持続的農村開発に対する SRI 稲作の有効性について再検討したい。

アジアにおいて大幅な収量の増加をもたらした緑の革命は、高収量品種の導入とそれともなう、農薬、化学肥料、水資源の大量投入という、いわば資源の集約化による増収アプローチであった。確かに、高収量品種の普及は、各国政府主導により大々的に行われ、増収と農業の近代化を推し進める原動力となった (増田, 1995) ことも事実である。しかし近年、農業の持続性に視点が移るに従い、資源の大量投入というアプローチに対し疑問をもつ声も多くなってきている。緑の革命に対し、SRI 稲作は、栽培管理方法の集約化 (Intensification) により、資源投入を減らし、稲が生育する環境を整えることで増収を成し遂げるという新たな増収アプローチであることは、繰り返し述べてきたとおりである。SRI 稲作が世界の稲作を変革する原動力となるかも知れないと考えられる最大の理由はまさにここにあり、従来の増収アプローチを 180 度転換する稲作であるという点にある (図 5-1)。SRI 稲作は、過剰に投入されている農薬、肥料を必要最小限の量に、限りある水資源を適切に分配利用することで、“農業の持続性”を高めることができる稲作技術であり、ここに持続的農村開発への有効性をみることができる。

また、SRI 稲作は、増収というインセンティブと省資源投入というアプローチ方法により、その導入、実践課程を通じて、持続的農業に対する農業者の能力開発を進める力をもつと考えられる。緑の革命での高収量品種をはじめとし、あらたな技術は、様々な付随的效果をもつ。高収量品種がもたらしたのは、資源の大量投入という農業であったが、増収アプローチ方法の異なる SRI 稲作は、適切な普及、指導が行われる限り、持続的農業を実現する力となりうるであろう。これにより、農業に関わる“人の持続性”を高めることが可能となる。

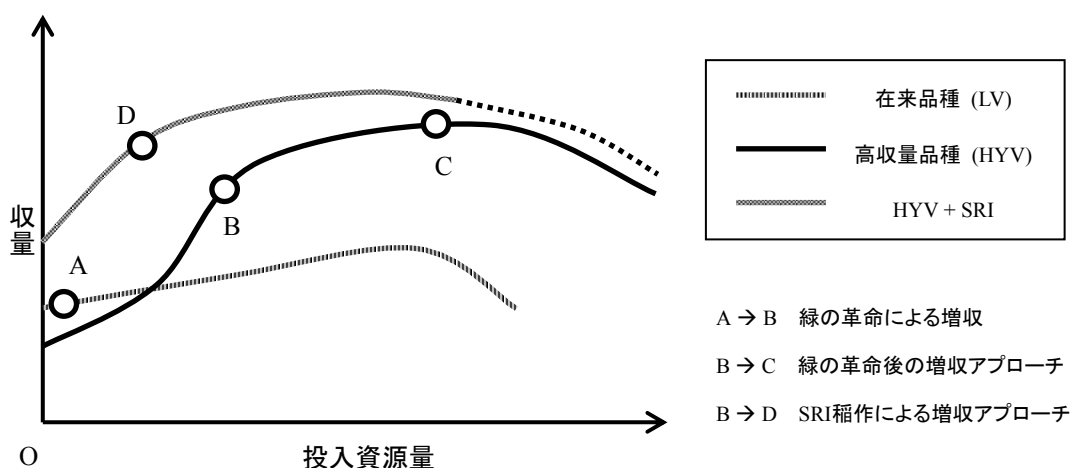


図 5-1 緑の革命と SRI 稲作の増収アプローチの違い

SRI 稲作は、短期的には、収量増加と資源節約を果たす稲作技術であるが、長期の視点で見ると、以上確認したように、その実践課程を通じて、農業とそれに関わる人、両者の持続性を高める可能性を秘めた稲作技術なのである。

5. 1. 3 持続的農村開発への可能性

最後に SRI 稲作と持続的農村開発に対して本研究での結論を踏まえ提言を行いたいと考える。

前述のように SRI 稲作のもつ収量増というインセンティブおよび省資源型という従来とことなる農業アプローチは、農民の農家経営意識、組織的かつ効率的な水管理に対して非常に有効に働き、農業者の能力開発を進める力をもつと考えられる。これを利用し、SRI 稲作を取り入れた開発アプローチを実施することを提案したい。例えば、実際に設備が整えられていても、運営の杜撰な灌漑がいたるところに存在する現状において、現在灌漑設備の破損や管理組織不在などで機能不全に陥っている灌漑施設の改修事業を実行する際に SRI 稲作の普及を同時に行うことで、更なる事業効果をもたらすことが可能となるだろう。管理組織を単位とした SRI 稲作の普及活動により、組織への参加意識の向上と SRI 稲作の適切な普及、指導を果たすことができ、ハードとソフト両面における適切な灌漑管理、さらに水資源の節約、農民の所得向上といったさまざまな開発効果を同時に実現することが可能である。この点において SRI 稲作は、持続的農村開発に対する大きな可能性を秘めているといえることができるだろう。

SRI 稲作もさらなる方向性を探ることが必要である。食糧生産のための増収という目標が達成されつつある今、目標の収量を最小限の投入を用いて達成する稲作、また農業技術がこれからの農業には求められている。投入増による増収という従来の増収の考え方とは一線を画した稲作システムが存在しうることを証明したという意味で SRI 稲作の果たした功績は大きいと考えられる。省資源化という SRI 稲作の増収へのアプローチ方法は、このような稲作また農業技術を構築する基礎となりうるのではないだろうか。この点において SRI 稲作を研究する意義は大きく、SRI 稲作研究の進展、さらに最小限投入による最適収量を成しとげる真に持続的な農業の実現を期待するものである。

5. 2 これからの SRI 稲作研究へむけて

5. 2. 1 本研究の課題

本研究における問題点について、前項で述べた成果を踏まえ、ここまで取り上げた SRI 稲作に関するそれぞれのトピックスごとにまとめることで今後の SRI 稲作研究における自らの課題としたい。

1) 技術的検証における問題点と課題

本研究においては、間断灌漑という技術要素に特に注目した比較栽培試験を行ったが、病害虫の影響により、十分な成果が得られたとはいえなかった。今回の試験は、試験圃場の本格運用開始初年度であり、管理に不十分な点があったことも否めないため、圃場管理の適正化をはじめに課題としてあげたい。

今回試験により、乳苗移植が SRI 稲作の増収へ果たす効果の可能性を観察することができた。今後は、乳苗移植単体での影響・効果の検証に加え、乳苗移植と疎植一本植え、あるいは乳苗移植と間断灌漑との相乗効果を圃場試験において検証することが重要となるであろう。併せて、肥料からの窒素供給、空気中からの窒素固定、作物体への窒素吸収という水田での窒素収支や間断灌漑による土壌の酸化還元が根の生長に与える影響など今回試験では、扱うことができなかった測定項目に注目した試験を組み立てて SRI 稲作を検証することも今後必要となってくると考えられる。また、今回は有機肥料を除く SRI 稲作の技術要素について考察を加えたが、有機肥料施肥を含んだかたちでの SRI 稲作を検討することが今後の課題となる。

本研究では、試験圃場を中心とした検証にとどまったが、今後併せて実際の農家水田における SRI 稲作についても、圃場試験とともに収量調査や生長の観測を含めて比較検討していく必要があると考えられる。報告されている SRI 稲作による高収量は、もちろんすべてが正しいわけではなく、計測ミスなども存在していると考えられるが、その中に SRI 稲作を検討する上で有効な要素、また高収量を実現する要素が隠されている可能性もあるのではないだろうか。圃場試験と農家水田、両者において SRI 稲作の検証を進めていく必要性があると考ええる。これを通じて、SRI 稲作が適応可能な条件、不可能な条件を探ることが肝要である。

SRI 稲作における効果のひとつのうちメタンガスの排出削減について、今回試験では検証できなかった。しかしながら、水田におけるメタン排出は、メタン総排出量の 10%以上を占めており (IPCC 1996)、温室効果ガスの削減対象として重要である。今後の試験では、SRI 稲作の間断灌漑によるメタン削減について、亜酸化窒素や二酸化炭素といった温室効果ガスも含め、より詳細な検証を加える必要があるだろう。

2) 灌漑用水節約効果についての課題

今回試験において SRI 稲作により圃場単位での灌漑用水量を減少させることができると明らかになった。この結果は、試験圃場でのコントロールされた環境下のものであるため、実際の農家水田においても、SRI 稲作と慣行稲作について流入流出を測定することで、その節約効果の測定精度を高める必要があるだろう。

また、灌漑用水量の削減効果についてこれを拡張し、灌漑エリアや地域単位での SRI 稲作導入に伴う灌漑用水量の削減効果を、地域の作付けパターンから水収支モデルを用いて検証することが SRI 稲作の有効性を検証する上で必要になると考えられる。これにより下において述べる SRI 稲作導入による経済効果の検証をより詳細に確認することが可能となる。

3) 農家への影響についての課題

南スラウェシでの聞き取り調査からは、SRI 稲作導入にともない、農家所得の増加や適切な栽培管理へのインセンティブが働くことがみられた。今回調査では、限られた地域また数の農家のみが対象であるため、今後はこれを広げ、より多様な地域における調査を実現、比較することが重要となる。同時に、SRI 稲作導入と農民の意識変化について、より定量的なアプローチを試みて、その信頼性を向上させることが必要だと考える。

農家における生産費分析から慣行稲作と SRI 稲作の生産費における特徴が明らかとなった。今回は一件の農家を対象とした分析であったためその傾向をつかむのみにとどまり、統計的分析にまで拡張することは出来なかった。今後、このようなデータの数を増やし信頼度を高めるとともに、得られたデータを用いて、収量と各投入資源量から生産関数による分析を行うことが考えられる。

加えて、増収効果と水資源節約効果を総合して SRI 稲作導入によるプロジェクト単位での経済効果を検証するというアプローチにより、その有効性を検討していくことが、SRI 稲作による総合的な影響を考察する上で重要となりうると考えられる。

また、SRI 稲作導入には、それにとまなうリスクが存在するため、これらリスクを軽減し、農家の不安感を解消する普及・指導方法の検討が必要である。労働投入の増加を可能な限り軽減するため、改良された除草機の開発なども必要とされよう。SRI 稲作による諸所の効果は、適切な栽培管理が成されてこそ実現されるものであり、この効果を最大限に発揮するためにもこのような普及・指導方法の重要性を強調しておきたい。

5. 2. 2 これからの SRI 稲作研究へむけて

SRI 稲作の検討課題は多岐にわたるが、上記に検討したそれぞれのテーマに対してより踏み込んだ検証が必要であるが、各課題の詳細な検討は別の論文にゆずり、それぞれのテ

マを横断するかたちで、SRI 稲作というものを研究対象として扱う上での留意事項についてこれ以降では検討し、これからの SRI 稲作研究の方向を探りたい。

SRI 稲作に関する研究は、第一にその増収という効果に対して技術的検証を加えることが非常に重要であるが、一方でそれのみでは完結するものではない。なぜならば、SRI 稲作による増収効果が、間断灌漑や乳苗移植という技術的要素のみから成されているものではなく、SRI 稲作導入と収量増というインセンティブが“適切な栽培管理”につながることで、増収を実現している部分があると考えられるからである。加えて本論文で強調してきたように、SRI 稲作の省資源という特徴に注目した研究も必要となる。そのため、SRI 稲作に対する研究に取り組む上では、技術的説明、社会科学的検証、両面から SRI 稲作をとらえることが重要であり、この点において学融合的アプローチが必要になってくるといえる。

現状での SRI 稲作研究は、このようなアプローチをとっているものが非常に少ないように思われる。また、本研究においても、この両面から SRI 稲作を見つめなおすことを試みたものの不十分であった部分が多い。今後の SRI 稲作研究においては、前述の課題に対して、より柔軟な姿勢で取り組むことが重要であり、この姿勢を自らの SRI 稲作研究の方向として、さらなる研究に取り組みたいと考える。

多様な切り口からの調査研究を必要とするという性格から、今後の SRI 稲作研究には大学や研究機関による研究に加えて、開発に関わる企業や NGO との連携が今後ますます重要となるであろう。SRI 稲作は、これら異なった研究的背景、立場の人々を巻き込み研究を進めていくことで検討されるべきテーマであることを協調したい。これにより、研究の質と量ともに改善を図り、SRI 稲作が真に有効であるか否かという検証とともに、その実際の普及に貢献し、持続的農村開発の方向性を探ることが可能となる。

そのため、SRI 稲作研究にあたっては、他の分野以上に情報センターとなる学会もしくは研究会の役割が重要となる。日本における SRI 稲作の研究会は 2007 年に設立されたが、いまだ動き出したばかりである。今後このような研究会を通じ、信頼できる情報を共有した上で、多様な背景、立場の人々との協力により SRI 稲作の研究を進めていく必要がある。

これまで見てきたように、SRI 稲作は、収量の増加、水資源の節約、農民意識の変革というさまざまなインパクトをもち、それぞれが、貧困、環境、水資源の枯渇といったこの地球上での現在進行形の問題に直結している。SRI 稲作が本当に直接それらの問題を解決する可能性も大いにあるし、もしかすると否定的な結論に終わり消えてしまう技術なのかもしれない。しかしながら、SRI 稲作研究は、多岐に亘るその研究分野の中から、新たにこれらの問題に対して有効な技術、理論、制度などを生み出す可能性を大いに秘めているものであると考えられる。この意味において SRI 稲作に関する研究は、まさに“今”取り組むべき研究であり、今後も議論が活発化することが望まれるものである。

本研究は、その一端として SRI 稲作について可能な限り多様な視点から検証することを目

指したものであるが、ひとりの人間がみられるものは限られており、十分ではない。より多くの研究者、技術者、開発に関わる人間が SRI 稲作に注目し、研究に取り組むために、この論文が一助となることを願いたい。

文 献

<外国語文献>

Ceesay, M., Reid, W., Fernandes, E., Uphoff, N., (2006) “The effects of repeated soil wetting and drying on lowland rice yield with System of Rice Intensification (SRI) methods”, *International Journal of Agricultural Sustainability* 4 (1) 2006, 5-14

Dobermann, A., (2003) “A critical assessment of the system of rice intensification (SRI)”, *Agricultural Systems*, 79(3), 261-281

Horie, T., Shiraiwa, T., Homma, K., Katsura, K., Maeda, S., Yoshida, H., (2005) ”Can Yields of Lowland Rice Resume the Increases that They Showed in 1980s?”, *Plant Production Sciences* 8 (3), 259-274

IPCC, (1996) “Climate Change 1995 - Scientific-Technical Analyses of Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change”, Report of IPCC Working Group II.

International Rice Research Institute (IRRI) Homepage, <http://www.irri.org/>

Laulanié H., (1993) “Technical Presentation of the System of Rice Intensification Based on Katayama’s Tillering Model”, unpublished paper, translated from French

Rafaralahy, S., (2002) “An NGO perspective on SRI and its origins in Madagascar” In: Uphoff, N., Fernandes, E.C.M., Yuan, L.P., Peng, J.M., Rafaralahy, S., Rabenandrasana, J. (Eds.), *Proceedings of an International Conference on Assessment of the System for Rice Intensification (SRI)*, Sanya, China, 1–4 April 2002. Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development (CIIFAD), Ithaca, NY, 17-22

Sato, S., (2007) “4 Years Experience with SRI Practice under DISIMP in Eastern Indonesia”, *Decentralized Irrigation System Improvement Project in Eastern Region of Indonesia Report*.

Sheehy, J.E., Peng, S., Dobermann, A., Mitchell, P.L., Ferrer, A., Yang, J., Zou, Y., Zhong, X. and Huang, J., (2004) "Fantastic yields in the system of rice intensification: Fact or Fallacy?", *Field Crops Research* 88, 1-8

Shimizu, K., Yamaji, E., Sato, S., Budiharto, P.S., Mizoguchi, M., (2007) "Sustainability of System of Rice Intensification: Benefits of SRI focusing on effect of intermittent irrigation on yield increase and water saving", paper for PAWEES international conference

Stoop, W.A., Uphoff, N., Kassam, A., (2002) "A review of agricultural research issues raised by the system of rice intensification (SRI) from Madagascar: opportunities for improving farming systems for resource-poor farmers", *Agricultural Systems* 71, 249-274.

Suprihartno, B., Dradjat, A.A., Satoto., Baehaki, S.E., Widiarta, N., Setyono, A., Indrasari, S.D., Lesmana, O.S., Sembiring, H., (2006) "Deskripsi varietas." *Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.*, 15 (in Indonesian)

Surridge, C. (2002) "The rice squad", *Nature* 416, 576-578

Surridge, C. (2004) "Feast or famine?", *Nature* 428, 360-361

SRI Homepage, Association Tefy Saina, Antanarivo, Madagascar and the Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development, <http://ciifad.cornel.edu/sri/index.html>

Uphoff, N., (2004) "The System of Rice Intensification (SRI): Capitalizing on Existing Yield Potentials by Changing Management Practices to Increase Rice Productivity with Fewer Inputs and More Profitability", Paper for World Rice Research Conference

World Metrological Organization (WMO) Homepage, <http://www.wmo.int/>

Yoshida, S., (1981) "Fundamentals of Rice Crop Science", the International Rice Research Institute (IRRI)

＜日本語文献＞

片山佃 (1951) 「稲麦の分げつ研究」, 『養賢堂』

佐藤周一 (2006) 「東方インドネシアにおける SRI 稲作の経験と課題」,
『根の研究』 15(2), 55-61

高木保興 (2004) 「国際協力学」, 『東京大学出版会』

竹内啓 (1963) 「数理統計学」, 『東洋経済新報社』

農山漁村文化協会 (1995) 「乳苗稲作の実際—らくらく育苗で安定増収—」,
『農山漁村文化協会』, 24-91

堀江武 (2004) 「農学基礎セミナー 作物栽培の基礎」, 『農山漁村文化協会』

増田萬孝 (1995) 「緑の革命の稲・水・農民」, 『農林統計協会』

松島省三 (1977) 「改訂版 稲作診断と増収技術」, 『農山漁村文化協会』

山路永司, 佐藤周一 (2007) 「S R I 稲作の収量と不均一性」, 『農業農村工学会』,
講演要旨集 994-995, 2007

山根一郎 (1988) 「農学基礎セミナー 土と微生物と肥料のはたらき」,
『農山漁村文化協会』, 106-116

謝 辞

本論文は、SRI 稲作というテーマが結ぶ“縁”によって形作られたものです。ここに簡単ではありますが、修士 2 年間を通じて出会えたみなさまに対し感謝の意を示したいと思えます。

主査をして頂いた山路永司教授には、修士 2 年間を通じ、研究について丁寧なご指導、ご助言を賜りました。国内、海外を問わず様々な場所へ出かけ、またゼミ、研究会、学会等発表を通じて、研究を深める機会をたくさん頂けたことを非常にうれしく思い、強く感謝いたしております。毎週のゼミ後のお酒も研究の活力となりました。ありがとうございます。

快く副査を引き受けてくださった吉田恒昭教授、中山幹康教授には、研究に対し貴重なご意見を賜りました。ここに御礼申し上げます。

日本工営株式会社海外事業本部 DISIMP 開発事務所所長の佐藤周一様なくしては、SRI 稲作と巡り合うことはありませんでした。講演を通じ SRI 稲作を教えて下さり、私と SRI 稲作を繋いで下さったことに対し心より感謝申し上げます。また、本研究にあたり佐藤様の担当されるプロジェクトである DISIMP を通じ、インドネシアにおける研修、研究の機会を下さったことを大変ありがたく感じております。ありがとうございました。

インドネシアでの研究では、日本工営株式会社 DISIMP マカッサル事務所の柚木裕二様、森山索様、黒田武史様をはじめとするコンサルタントの方々、DISIMP マカッサル事務所の Mr.Zulwarman、DISIMP バリ事務所の Mr.Budiharto、Mr.Bugus、Mr.Yakosi、DISIMP マタラム事務所の Mr.Heru、Ms.Nur、Mr.Imtias をはじめとしてインドネシア人エンジニア、スタッフの方々に大変お世話になりました。ここに感謝いたします。インドネシアで出会えたみなさまは私の一生の財産です。

SRI 稲作の研究を支える J-SRI 研究会を通じては、東京大学農学生命科学研究科溝口勝准教授、荒木徹也助教、千葉大学園芸学部犬伏和之教授、東京農工大学農学府木村園子ドロテア特任助教授、北海道農政部飽津博史様をはじめとした方々から、また講演会を通じコーネル大学 Norman Uphoff 教授から、農業のみならずたくさんの方々のことを学ばせていただきました。ここに御礼申し上げます。

また、国際協力学専攻、そして山路研究室の同期、先輩後輩とは、研究、お酒の席などを通じて大変お世話になりました。感謝いたします。

最後になりますが、ここでお名前をあげることでできなかったすべてのの方々に対しても一度御礼申し上げたいと思います。ありがとうございました。

付 録

すべての付録は、CD-ROM データにて添付した。以下では、付録番号、タイトル、ファイルまたはフォルダ名を示す。

収録のすべてのデータについて、筆者に無断で使用することを禁ずる。使用の際には、筆者の許可を得て、出典を明記すること。

1 実験計画

付録 1-1	2007 年乾季作実験計画	.....	SRI Experiment Plan 2007 DS.doc
付録 1-2	2007/08 雨季作実験計画	.....	SRI Experiment Plan 200708 WS.doc
付録 1-3	収量調査方法	.....	Yield Survey Method.doc

2 観測写真

付録 2-1	観測日別生育写真	.....	Day フォルダ
付録 2-2	プロット別生育写真	.....	Plot フォルダ
付録 2-3	根の生育写真	.....	Root Growth フォルダ
付録 2-4	収穫後の根写真	.....	Root After Harvest フォルダ
付録 2-5	フィールドサーバ連続写真	.....	FS Paddy Growth.wmv

3 生長観測

付録 3-1	稲の生長観測	.....	Paddy Growth.xls
付録 3-2	根の生長観測	.....	Root Growth.xls

4 収量調査

付録 4-1	プロット別収量	.....	Pot Yield.xls
付録 4-2	収量構成要素	.....	Yield Component.xls
付録 4-3	南スラウェシ収量調査	.....	KK Yield.xls

5 土壤水分計温度計

付録 5-1 土壤センサーデータ Soil Sensors.xls

付録 5-2 キャリブレーション結果 Calibration.xls

6 土壤分析

付録 6-1 土壤分析結果 Soil Analysis.xls *インドネシア語

7 気象観測

付録 7-1 フィールドサーバ観測データ FS Data フォルダ

8 南スラウェシ調査

付録 8-1 南スラウェシ質問表 Questionnaire.doc

