

途上国開発における SRI (system of rice intensification) の意義

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授 山路 永司

1. はじめに

農業土木分野の国際協力の代表として、開発途上国における灌漑開発プロジェクトがあります。ダム、頭首工、水路、圃場整備、営農指導などをパッケージとして整備し、大きな成果を上げています。これらの個別技術やパッケージ技術は、農業土木技術者が長年蓄積してきた日本の誇る技術体系であり、これを現地に適用するという手法がとられてきました。

一方、稲作に関しては、SRI (エス・アール・アイ、あるいはスリ) という名前が、近年よく聞かれるようになってきました。この技術は、これまでわが国では行われて来なかった技術ですので、プロジェクト計画にこれが盛り込まれることはありません。また、日本の技術者も、この技術が何なのか、よくご存じでないにもかかわらず、この言葉を、よく耳にするようになってきたのではないのでしょうか。それもそのはず、SRIは世界40カ国以上で普及しており、インド、中国では数十万ヘクタール規模、ベトナム、カンボジアでは、数万ヘクタール規模に達しています。

そこで、本稿では、SRIとはどういう技術なのか、どういう可能性を持っているのか、どんな課題が残されているのか、について述べたいと思います。

2. SRIの誕生

SRIの開祖は、イエズス会の神父、アンリ・デ・ロラニエ (Henri de Laulanie, 1920-1995) です。フランスで農学部を卒業後、神学部を卒業したロラニエ神父は、マダガスカルに派遣されましたが、農民の生活は苦しく、農民にキリスト教を普及する以前に農業生産性を上げようと考えました。農学部出身でもあったため、専門書を読み、村人と試行錯誤するうちに、このSRIの発明に至りました。この技術については、1983年にフランス語で発表され、英語にも翻訳されました。

このSRIはこれまでの稲作農法とは全く異なるため、現地と一緒に活動した村人やNGOの人たちには受け入れられたものの、マダガスカルの農業関係者には殆ど受け入れられませんでした。

その後、SRIは1990年代後半から世界に知られるようになりましたが、それは1993年にマダガスカルを農業環境調査で訪れたノーマン・アポフ博士 (米国コーネル大学・国際食料農業開発研究所所長) の尽力の賜物です。

このことより、SRIの産みの親がロラニエ神父、育ての親がアポフ博士といえるでしょう。

3. SRIとは何か

SRIの基本的な方法を、日本の標準的な稲作技術と対比すると、表1の通りです。

表1 日本の標準的稲作技術とSRIの比較

	日本の稲作 (移植)	SRI
移植苗の葉齢	中苗 (手植え) または稚苗 (田植機)	乳苗 (7-12 日苗)
栽植密度	15-20 株 / m ² 前後	11 株 / m ² 前後
一株苗数	4 本程度	1 本を推奨
初期の水管理	栄養生長期間は湛水状態	移植後早めに間断灌漑開始

上記4方法が共通の原則ですが、有機肥料 (堆肥) の施用もSRIの基本原則である、という考え方も広まってきています。しかし、これは望ましいものの、絶対というわけではありません。

以上をまとめると、SRIの基本原則とは、①出芽後1週間程度の乳苗を、②30cm程度の広い間隔で、③一本植えし、④栄養成長期に湛水せず間断灌漑を行う。そして、⑤可能であれば有機肥料を用いる、となります。これは戦後のわが国の近代的農法と大きく異なりますし、各国での伝統的な農法とも異なっています。

これらの方式を導入した結果、収量が大幅に伸びる、という報告が各国でなされています。

表2 SRIの増収効果

Country	SRI (non SRI)	Country	SRI (non SRI)
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)

佐藤周一 (2006)

加えて、SRI農法では慣行稲作に比べて資源の投入量が減ります。表1の栽植密度と一株苗数からの単純計算では、苗の本数が1/6~1/8で済むことがわかります。インドネシアでは栽植密度が25株/m²程度ですので、もっと減ることになります。塩水選を導入するため、実際にはここ

までは減りませんが、種籾量が大幅に減ることは間違いありません。その分、育苗の手間も減り、また移植の時間と労力が減ります。

4. SRI増収の原理

米の増収は、人口増加が続く途上国では大いに歓迎されるため、SRIへの期待が高まりますが、どうして増収するのか、先の4要素ごとに個別の効果を説明すると、以下の通りです。

(1) 乳苗移植：播種後10日前後の乳苗には種籾の中に胚乳養分が半分程度残っているため、根が活発に伸張し、分げつ (茎の分化) を促進します。結果、収量確保に必要な茎数を十分に増やし、丈夫な太い茎をもつ強いイネが育ちます。この強いイネは、強風や冠水に強いことが報告されています。

(2) 1株1本植：1本植をすると1つの株内での苗同士の競争がないため、根が広く深く伸長し、丈夫な太い茎を作り、大きな穂を育て、千粒重が重くなり、収量が増えるといわれています。ただし、この効果については、私たちの研究では2本植えてもほぼ同等か、それ以上の効果があることが判明しています。

(3) 疎植栽培：田植え時に株間を広げて植えることで、根が広く伸長するとともに、隣同士の葉茎がふれあわず、イネの受光態勢と風通しが良くなり、イネが力強く育ちます。結果、病虫害に対する抵抗力も増します。標準の間隔は30cm×30cmですが、それぞれの地域の条件に合わせ、25cm~40cmまで、いろいろと取り組まれています。

(4) 間断灌漑：幼穂分化までのイネの栄養成長期に、湛水しないで、田面の湿潤と乾燥を交互に繰り返します。空気に触れた根は、赤みを帯びた健康的な姿となり、その結果強い茎をつくり、穂が大きくなり収量が増えます。

一方、SRIによっても増収しないケースも報

告されています。表3は、各地での試験結果を増収（減収）量順に並べたものです。実験によっては、減収のリスクもあります。ただし、増収効果が小さい、あるいは減収したケースは、すべて農家圃場ではなく、研究者による試験圃場での結果です（脇本、未発表）。

日本での実験では、従来法もSRIも収量に変わりはありませんでした（Chapagain and Yamaji, 2010）。これまでの農法が、その地域での最適な方法であれば、SRIを導入したからと言って、収量が増えるわけではないのです。

もちろん、後で述べるように、SRIには増収効果以外の効果も多くありますので、日本では導入不要というわけではありません。

表3 SRI増収幅の要因

文献	試験地	圃場	SRI収量	SRI増収幅
Tsujimoto et al. ³⁾	マダガスカル	農家	8.9 (t/ha)	5.1 (t/ha)
Satyaranayana et al. ⁴⁾	インド	農家	8.7 (t/ha)	2.5 (t/ha)
Thakur et al. ⁵⁾	インド	試験	6.3 (t/ha)	1.8 (t/ha)
Sinha and Talati ⁶⁾	インド	農家	5.8 (t/ha)	1.7 (t/ha)
Mishra and Salokhe ⁷⁾	タイ	試験	6.3 (t/ha)	1.1 (t/ha)
Zhao et al. ⁸⁾	中国	試験	7.3 (t/ha)	0.9 (t/ha)
Chapagain and Yamaji ⁹⁾	日本	試験	7.4 (t/ha)	0.0 (t/ha)
Sheehy et al. ¹⁰⁾	中国	試験	7.2 (t/ha)	0.0 (t/ha)
Islam et al. ¹¹⁾	バングラデシュ	試験	5.6 (t/ha)	-0.2 (t/ha)
Stoop ¹⁾	中国	試験	3.7 (t/ha)	-0.3 (t/ha)
Latif et al. ¹²⁾	バングラデシュ	試験	5.4 (t/ha)	-0.7 (t/ha)

（脇本有希、未発表）

5. SRIの多様性

日本の稲作において、たとえば「直播（ちよくはん、じかまき）」という技術は、さまざまなバリエーションを持っています。SRIもマダガスカルで開発されたときは一つの技術でしたが、普及が進むにつれて、それぞれの国、地域の事情に合わせて、様々な修正やアイデアが加えられ、多様化しています。

そこで、アポフ博士はSRIの基本原則として、以下の6原則を提唱しています。

- (1) 若い苗を使う（直播も選択肢の一つ）
- (2) 田植え時に苗の根へのダメージを避ける

- (3) 田植え時に苗の間隔を空ける
- (4) 水田の土を湿らせておくが、湛水させない
- (5) 土壌中に空気を供給する
- (6) 土壌有機物を増やす

このうち、(1)～(3)は稲の成長を促進させるためのものであり、(4)～(6)は稲の根と土壌の生物性を改善するためのもの、と説明されています。

また、カンボジアでは農家へのSRIの普及指導にあたって、以下の12原則が推奨されています。これは推奨なので、この12原則のうち、出来るものだけ、やってみたいと考えたことだけを、各農家は導入しています。

- (1) 田の表面を水平にならし、排水を良くする
- (2) 中身がつまった種を選定して、種まきする
- (3) 苗代を高く盛り上げて、ある程度乾燥させる
- (4) 大きく育った苗を選び、すぐに田植えを行う
- (5) 若い苗（15日以内の苗）を田植えする
- (6) 1株あたり1-2本の苗を田植えする
- (7) 苗を浅く田植えする（根を水平にするとよい）
- (8) 苗を列に揃えて植える
- (9) 苗の間隔を広げて（25cm-40cm）田植えする
- (10) 収穫までに2～4回以上の除草作業を行う
- (11) 水田内の水位を低く保つ
- (12) できる限り化学肥料ではなく堆肥を使用する

このように、SRIにはいろいろな考え方がありますが、私はそれでよいと思っています。定義が先にあるのではなく、その地域に最もうまく合った方法を農民が取ることが、最適の選択だからです。SRIはまだまだ発展途上にあり、進化中なのです。

6. SRIの普及

マダガスカルでSRIが発明されて以降の普及状況をまとめたものが、表3です（J-SRI研究会、2011）。マダガスカルから最初に他国に広がるま

で16年を要していますが、この12年間に世界各国に広がっています。

これらの国のうち、SRIの普及面積が多い国は、インド（約30万ha）、中国（約30万ha）、ベトナム（約7万ha）、カンボジア（約6万ha）、などです。しかし、たとえばインドの水田面積（約4,300万ha）を考えると、普及率は1%以下であり、それぞれの国での普及率はそれほど高くありません。

表4 SRIの各国への広がり

年	東・東南アジア ・オセアニア	南・西アジア	アフリカ	中南米
1983			マダガスカル	
1999	中国、インドネシア			
2000- 2001	カンボジア、ラオス、タイ、フィリピン、ミャンマー	スリランカ、ネパール、バングラデシュ、インド	ガンビア、シエラレオネ	キューバ
2002- 2003			ベナン、ギニア、モザンビーク	ペルー
2004- 2005	ベトナム、パキスタン	パキスタン	セネガル、マリ	
2006		ブータン、イラン、イラク	ブルキナファソ、ザンビア	
2007		アフガニスタン		ブラジル
2008	日本		ルワンダ、エジプト、ガーナ	コスタリカ、エクアドル
2009	東ティモール、マレーシア			
2010	北朝鮮、台湾		ケニア	パナマ

元データ：<http://cifad.cornell.edu/sri/>

7. SRIの副次的効果

SRIへの取り組みは前述の通り多くの国で行われていますが、コメが熱帯～温帯で栽培される

こと、コメ生産国には途上国が多いこと、途上国では稲作技術が不十分であることなどが、SRI導入が大きな増収効果をもたらす一因です。一方、わが国のように稲作技術が成熟した国では、増収効果は期待できません。しかしSRIには温室効果ガス抑制効果も報告されており、これはわが国としては重要な要素です。

慣行稲作では田面に長く湛水し作土が還元化するため、温室効果ガス（メタン）が多く発生しますが、SRIでは、間断灌漑により定期的に田面を乾かすため、亜酸化窒素が増えるものの、それ以上にメタンガスの発生量が大幅に減ります。したがってSRIは、肥料や農薬の使用量の減少と相まって地球環境の改善にも寄与すると言えるでしょう。

SRIでは間断灌漑が重要な要素ですが、多くの途上国ではそのための灌漑設備が不十分です。そこで、ODA（政府開発援助）で灌漑施設を整備し、途上国水田からの温室効果ガス排出を削減するというCDM（クリーン開発メカニズム）が考えられます。そうすれば、農家も地球関係もwin-win関係、先進国-途上国もwin-win関係を築くことが可能となるでしょう。

また、SRIの価値は、単にイネの増収にとどまらず、農民の姿勢や農村社会にまで影響を与える側面があるようです。SRIを受け入れた農民は、毎日田んぼに行くようになります。自分で工夫したアイデアを試したりして、頭を使うようになります。またSRIを始めてから、農民集会が復活したなどの話もあります。SRIは、技術面に限らず、環境や社会の側面から多面的に捉えることが必要です。SRIは、農民が受け入れ、持続的に行い、農民や地域に利益をもたらすことが最終の目的です。SRIとは「運動論」であるとの視点も重要です。

8. SRIの問題点

これまでSRIの利点のみ述べてきましたが、実際の普及にあたってはいろいろな障害があります。

第一の問題は、SRIが従来の稲作法と全く異なるため、心理的に受け入れがたいことです。乳苗移植後の田んぼは、植えたか植えてないかわからないくらい貧弱で、これは隠しようがないので、近隣の批評にも耐えなければなりません。この初期の貧弱さは、日本の直播農家も経験してきていることですが、日本で直播があまり普及していない一つの理由は、ここにあると考えています。

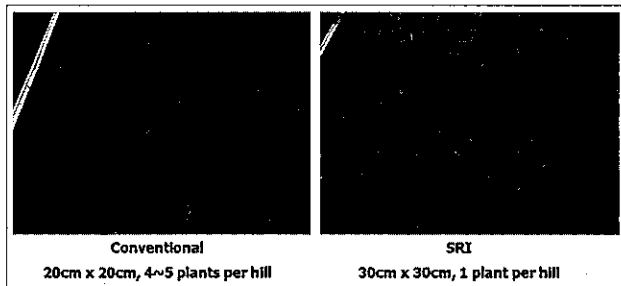


図1 田植え直後の田面の様子



図2 水田面に発達した亀裂

さらに湛水をしないため、干天が続いたときの水不足の不安感も大きく、定期的に灌漑を止め、土層に空気を送り込むため亀裂を発生させるため、ここでも不安が募ります。こんなに乾かしていいのだろうか、と。

そこで、地域で初めてSRIに取り組むパイオニア農民は、周辺の農民や身内の批判や嘲笑を覚

悟しなければなりません。SRI農家に話を聞くと、「最初の反対者は妻だった」「妻がうんと言ったから、始めることが出来た」という答えが返ってきます。とはいえ、分けつが進み力強いイネを見ると、パイオニア農民はSRIの価値を実感でき、周辺の批判者も考えを変え、「あれならやってみようか」という気持ちに変わるようです。

第二の問題は、間断灌漑で頻繁に田面を乾かすため、雑草（特に畑雑草）が増えることです。新しい回転式除草機の開発など、それぞれ工夫をしつつ課題を乗り越える努力をしていますが、大型の乗用機械で作業できる除草機の開発が待たれています。

第三の問題は、SRIにより育てた稲は圃場内の土壌水分環境条件のばらつきの影響を大きく受けることです。SRI水田では何十株にも分けつし、多数の穂を付ける株が多い一方で、貧弱な株も混じっています。従来の栽培法では平均がやや少なくとも、ばらつきはそれほど大きくはありません。この問題への対策としては、均平を良くすること、溝切りを行うことですが、大区画水田での実践のためには、さらなる新技術を開発する必要があります。

第四のそして最大の問題は、反対勢力の存在です。ある技術に対する賛成・反対は自由ですが、IRRIの研究者をはじめとする世界のイネ専門家の多くが、SRIを批判しています。たとえば、SRIの実践者が書いた論文に対して、SRIの増収原理が説明できていないことを批判しています（たとえば、Sheehyら、2004、Sinclairら、2004）。推進派の人たちの多くはイネ研究のプロではないため、ときに粗い論旨展開の論文になることもあり、もちろん、これはできる限り改善すべきです。しかし、イネ研究のプロにこそ、SRIのどこが良くて、どこがいけないのか、なぜ良くて、なぜ良くないのかについて、より客観的に

分析・評価をしていただきたいと考えています。

S R Iには増収という効果以外にも、省資源性、環境保全性、社会改革性といった効果があります。仮に増収性が僅かであっても、あるいは仮に否定された（増収はない）としても、これらの諸効果だけでもS R Iには十分に意義があると考えています。

9. おわりに

私が初めてS R Iという言葉を知ったのは2004年のことですが、最初は、半信半疑でした。2006年にインドネシアでS R I農家の笑顔を見たときに、「もはや」と思い、同年5月にスラベシ島で収量調査をやったときに、「本当かも」と思い始めました。しかし、新しい技術ゆえ、謎だらけです。

そこで、2007年4月にJ-SRI研究会を立ち上げ、S R Iにいろいろな視点や立場から関わっている幅広い分野の方々の参加をいただき、S R I情報の蓄積を図ってきました。そして、4年間の活動の成果をとりまとめ「稲作革命S R I」を刊

行しましたが、まだまだやることは多く残されています。

国内、海外を問わず、実際に水田の整備や計画に携わっておられる農業土木技術者の方々に、この新しい技術の謎に興味を持っていただければ、幸いです。

引用文献

Chapagain, T. and E. Yamaji(2010): The effects of irrigation method, age of seedling and spacing on crop performance, productivity and water-wise rice production in Japan, PWE, 8(1), pp.81-90.

J-SRI研究会(2011): 稲作革命S R I、日本経済新聞出版社。

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』、2006年6月号。

Sheehy, J. E. et al. (2004): Fantastic yields in the system of rice intensification: fact or fallacy?, Field Crops Research 88, pp.1-8.

Sinclair, T. R. and Cassman, K. G. (2004): Agronomic UFOs: Field Crops Research 88, pp.9-10

