2019.1.16　FIDR講演会

インドネシアでの実践と研究

元国際農林水産業研究センター
鳥山和伸

共同研究者：Nugroho,BDA（ガジャマダ大学）, 小林和彦（東大）、Chusnul、A（ボゴール農科大学）,横山繁樹(JIRCAS)、溝口勝（東大）

講演内容

- 研究が始まるまで
- SRI農家との4年間の共同作業
- 研究成果の紹介
- 今後の展開

途上国稲作の多収の謎
SRIとは？

- System of Rice Intensification
- 乳苗、疎植、一本植、間断灌漑、中耕除草を基本とする

（マダガスカルで1980年代に開発、東南アジアを中心に普及）

写真2-3　稲作調査中のロラニエ神父
（SRI Homepage から引用）

要素技術	作用	収量への貢献
1．乳苗	分げつ促進	穂数増加
2．一本植え	分げつ促進	穂数増加
3．疎植	株あたり光合成の最大化	乾物生産増加？
4．間断灌漑	根域に酸素供給	根の健全化？
5．中耕除草	表層土壌の混和	可給態窒素供給
SRI（組合せ）	上に加えて相乗効果	超多収？

研究が始まるまで

- JIRCAS横山繁樹氏に同行し、西ジャワのSRI農家組合調査とSRI教育訓練センターを訪問(2009~2011)
- SRI多収農家のいる農村を調査。節水水管理で収量が高まる傾向を知る

＊「インドネシア中部ジャワ水田のSRI農法－水管理の特徴と水稲生育への影響」、熱帯農業研究,第7巻,(2014）別号1,3-4.

- SRI多収農家の間断灌漑調査と収量向上要因の解析を実施。(2013~2015に栽培試験）

＊「東南アジアにおける農業土木学的視点からのSRI栽培技術の比較と標準化手法の開発」（代表：溝口勝教授（東大））

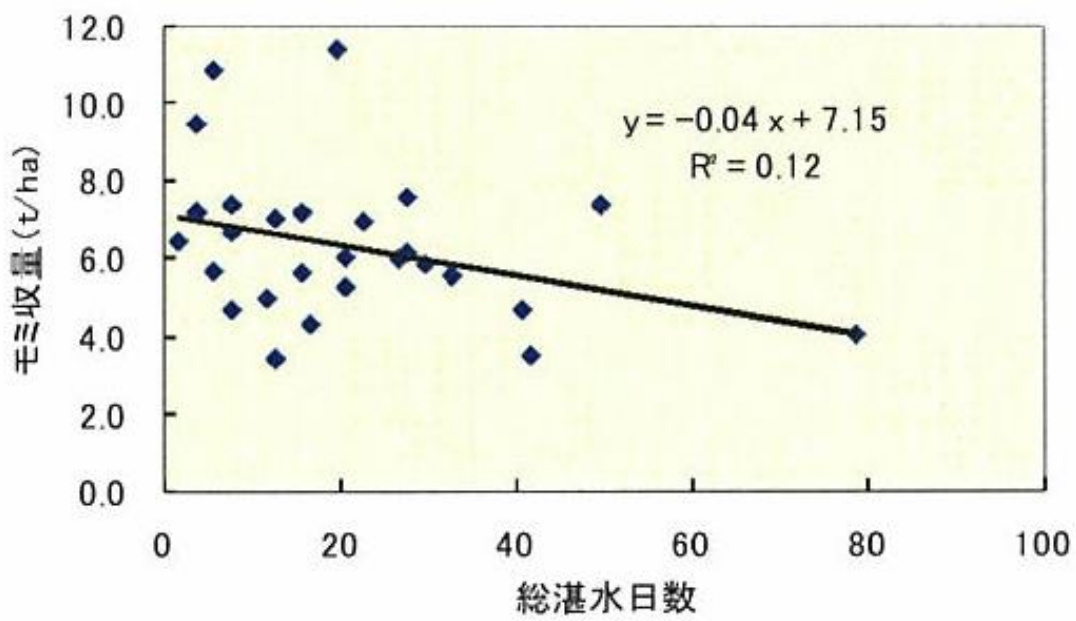
- 研究論文として公表(2018)

＊Effect of intermittent irrigation following the system of rice intensification (SRI) on rice yield in a farmer's paddy fields in Indonesia.　Paddy and Water Environment, 16,715-723.(2018)

SRI教育訓練センター(2009)

西ジャワ・スカブミ県で、NPOが運営

西ジャワでのSRI調査(2009)



〇移植直後から潤土管理を行っていた。

〇栽培期間（約105日）の中で、湛水日数の短いほど収量が高い傾向であった。

中部ジャワでの長期研究サイト(2011-2015)

- **インドネシア中部ジャワ州ウオノギリ県**

（7°47'S、111°07'E）　標高約500m

- 土壌： 比較的肥沃な粘質水田（土壌全窒素：0.17%）

栽培試験圃場の遠景と多収農家Sparno氏

栽培試験を湛水(FL)と間断灌漑（SRI）で実施

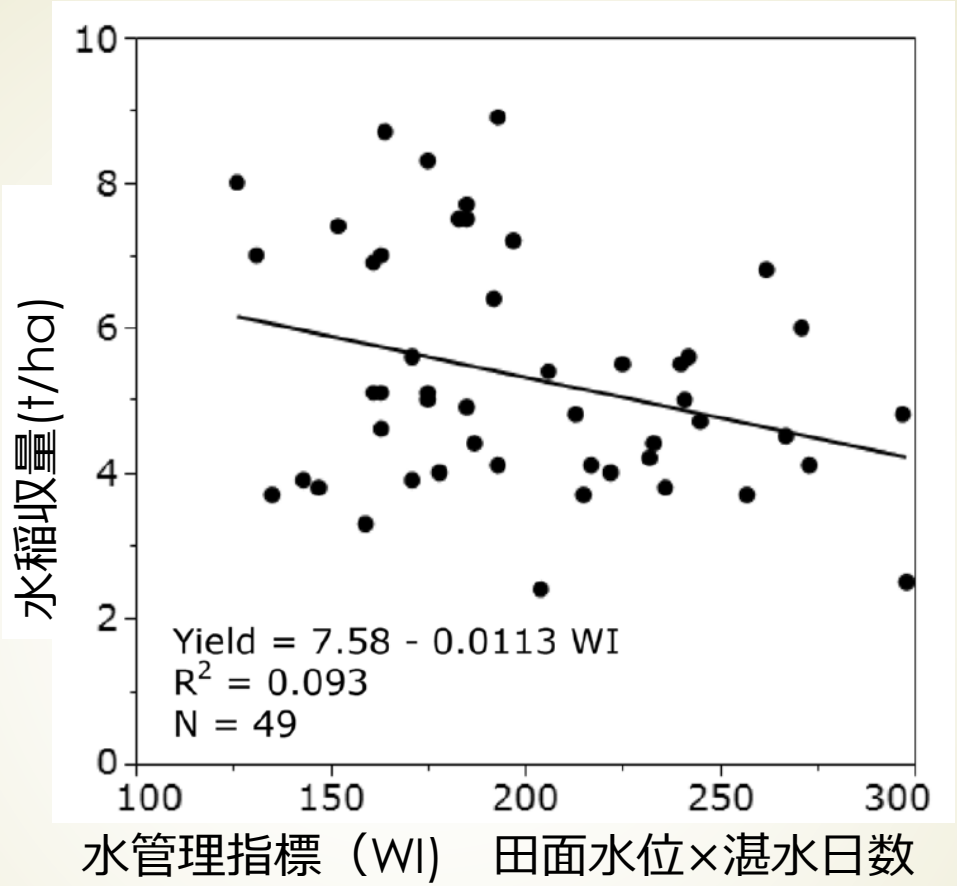
現地試験：土壌窒素肥沃度にムラがある条件で実施

Westing　　Easting

	1m	3m	5m	7m	9m	11m	13m	15m	17m	19m	21m	23m
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Terrace 1	236	205	208	204	179	187	215	175	185	171	162	202
			Plot harvest area					Plot harvest area				
Terrace 2	241	309	240	209	179	184	181	183	149	166	166	153
			Plot harvest area					Plot harvest area				
Terrace 3	274	342	258	253	231	219	205	208	226	198	201	200
			Plot harvest area					Plot harvest area				

Soil AvN (mg/kg)
230–
205–230
180–205
–180

水管理指標と農家収量の相関(2013年聴き取り調査)



中部ジャワでも灌漑水量が少ない方が収量が高い傾向があった。

間断灌漑効果に焦点を絞った試験を実施することにした

自記水位計による水位記録

FL(湛水)

SRI（間断灌漑）

- 2009年に13t/haのインドネシア収量記録をあげたSRI農家の水管理の実態を水位観測などから明らかにし、多収要因を湛水管理と比較検討

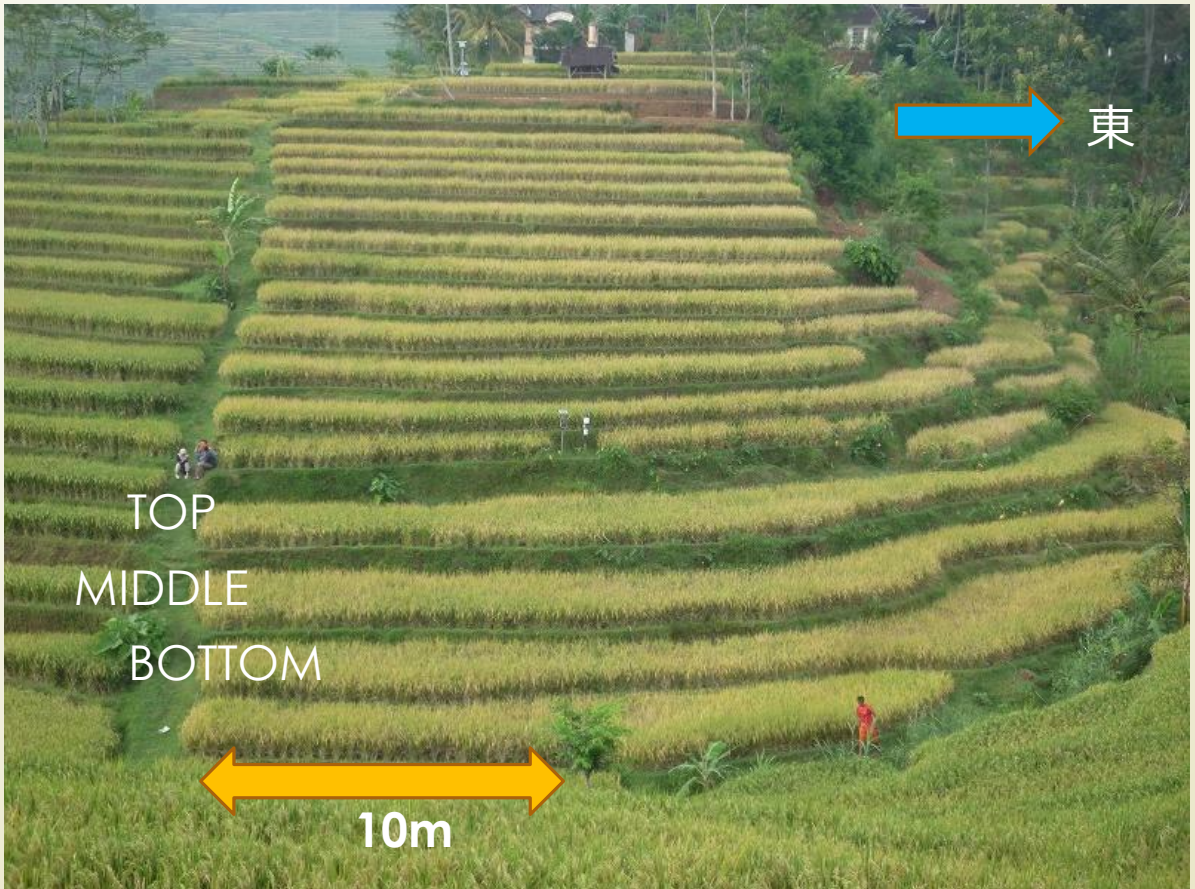
栽培試験圃場の処理区（３反復で４乾期作実施）

Layout of the experimental field

Terrace	2013		2014		2015		2016		
Top	SRI	FL	FL	SRI	SRI	FL	SRI	FL	not used
Middle	FL	SRI	SRI	FL	SRI	FL	SRI	FL	not used
Bottom	SRI	FL	SRI	FL	SRI	FL	SRI	FL	not used

note: dotted lines represent bunds in each terraced paddy field

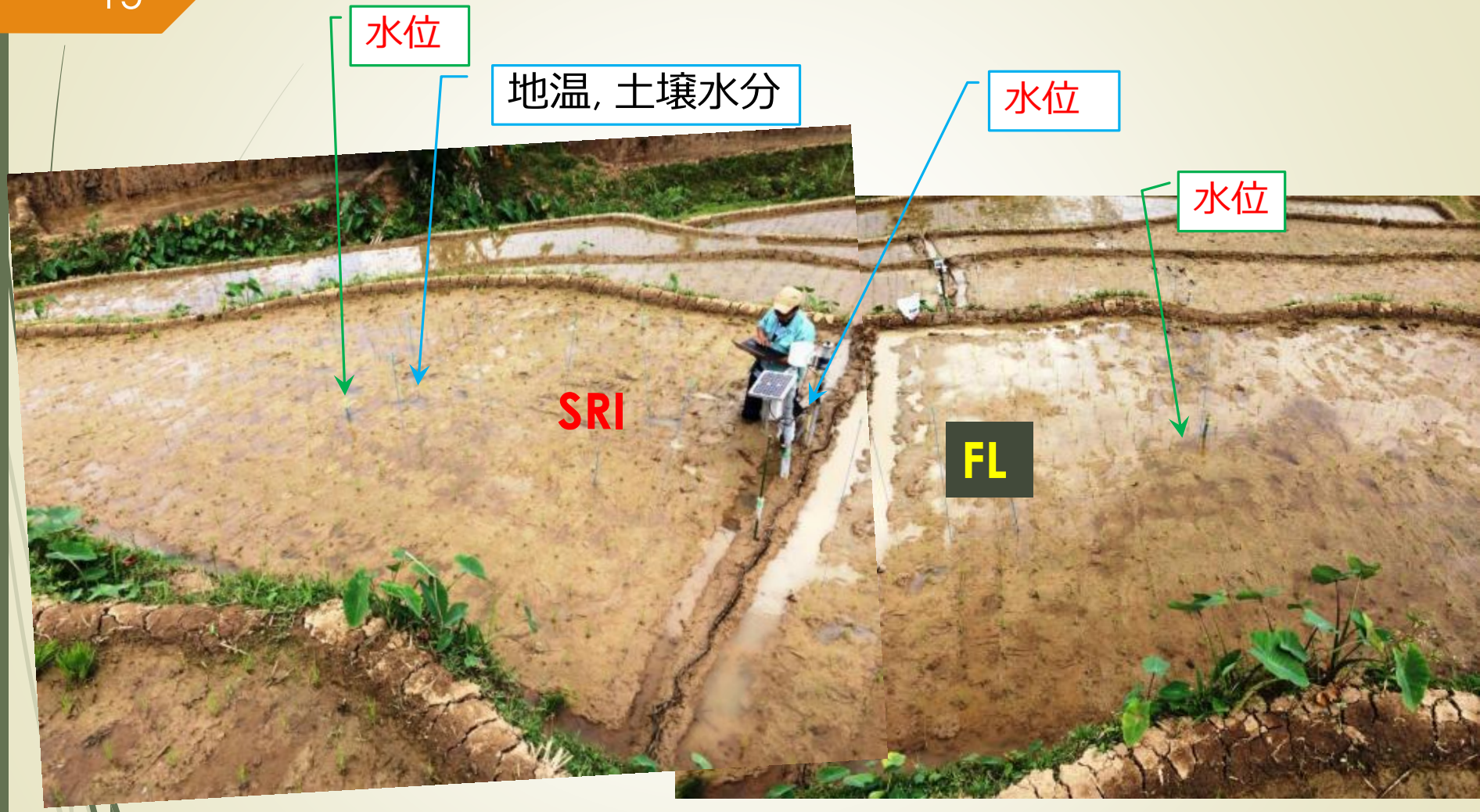
WEST



作物栽培管理の概要（2013-2016）

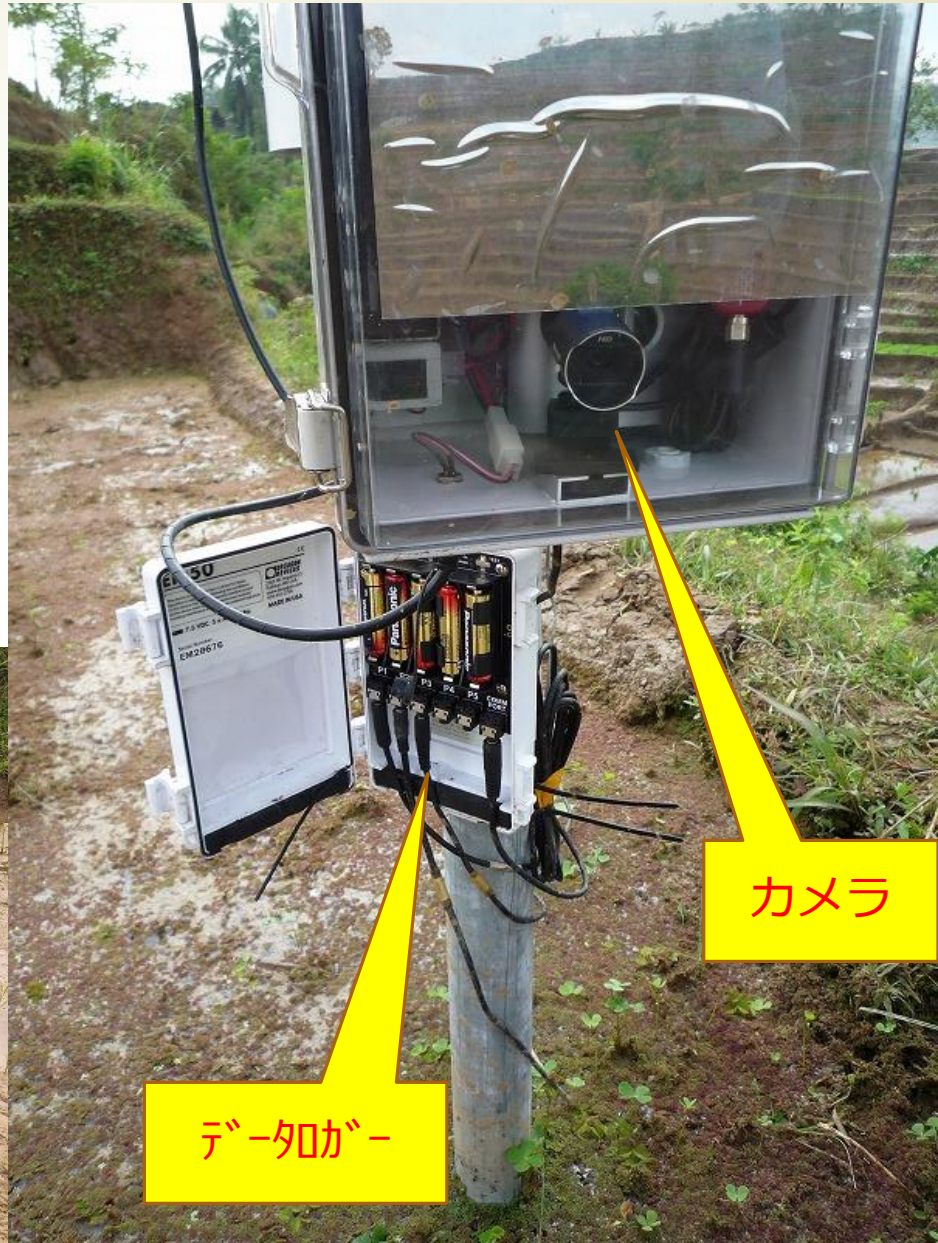
栽培年次		2013※	2014	2015	2016
水稲品種		Ciheran	IR-64	Ciheran	Ciheran
苗播種後日数（苗齢）		13 days (4.5)	14 days (4.2)	20 days (5.5)	15 days
移植日		20, July	20, July	5,August	11, April
出穂日		15,October	8,October	25,October	18,May
収穫日		19, November	7, November	13,November	21, July
生育日数		121	109	100	102
栽植密度 (cm×cm)		30×30	25×30	25×30	25×30
窒素施用量 ($g\ m^{-2}$)					
基肥 N	有機肥料	0.8	0	3.75	2
	化成肥料	0	4.5	0.5	6
追肥 N					
	化成肥料	13.8‡	0	0	0
	液体肥料	0	0.01	0.01	0.01
合計施用量 ($g\ m^{-2}$)		14.6	4.51	4.26	8.01

センサーによる生育環境のモニタリング



実験開始時の様子

生育環境の自動計測装置ﾌｨｰﾙﾄﾞﾙｰﾀの設置



稲の生育ステージ

収穫

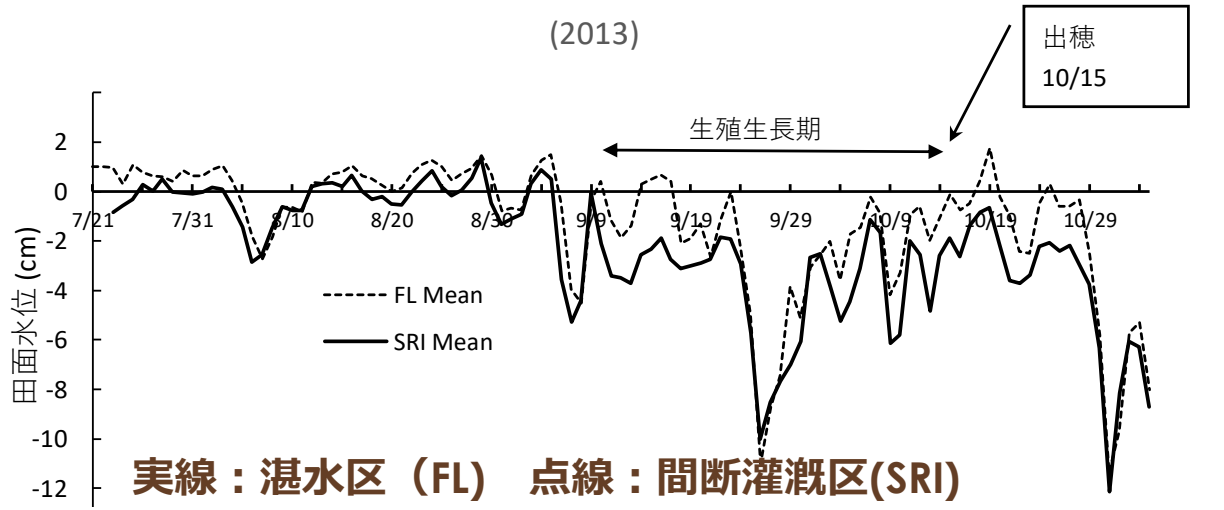
出穂

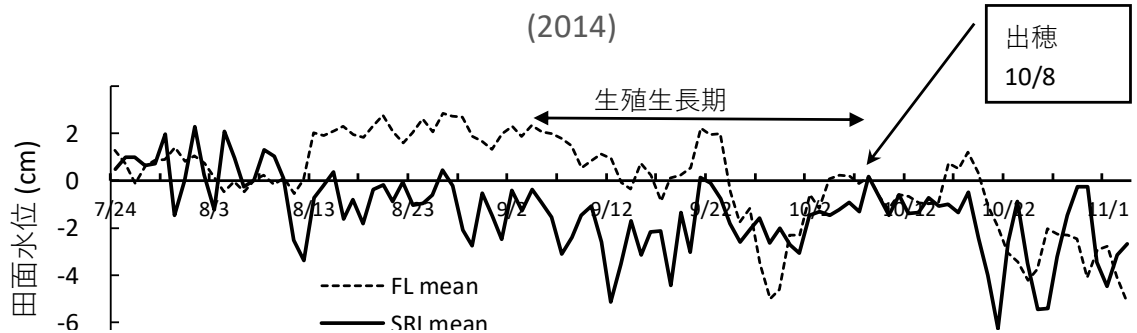
分げつ（茎が増えること）

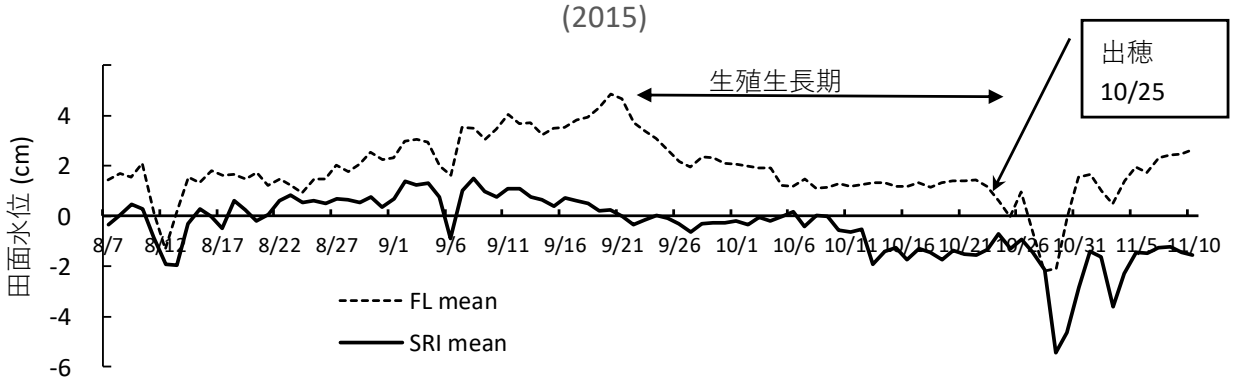
栄養生長期　生殖生長期　登熟期

栄養成長期の栽培試験現場の様子

田面水位の実測値（日平均水位）



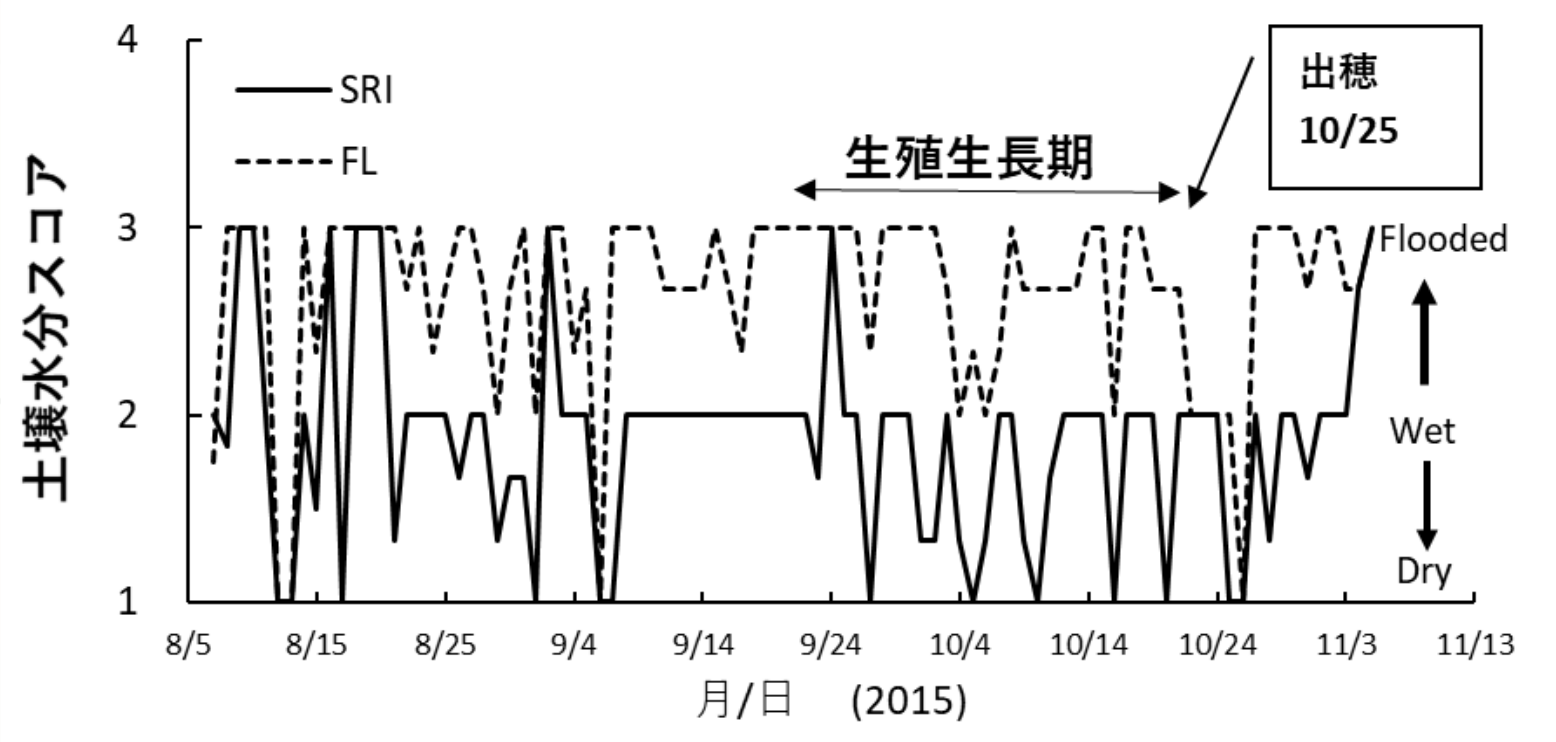




SRI水田の栽培期間の土壌水分の事例

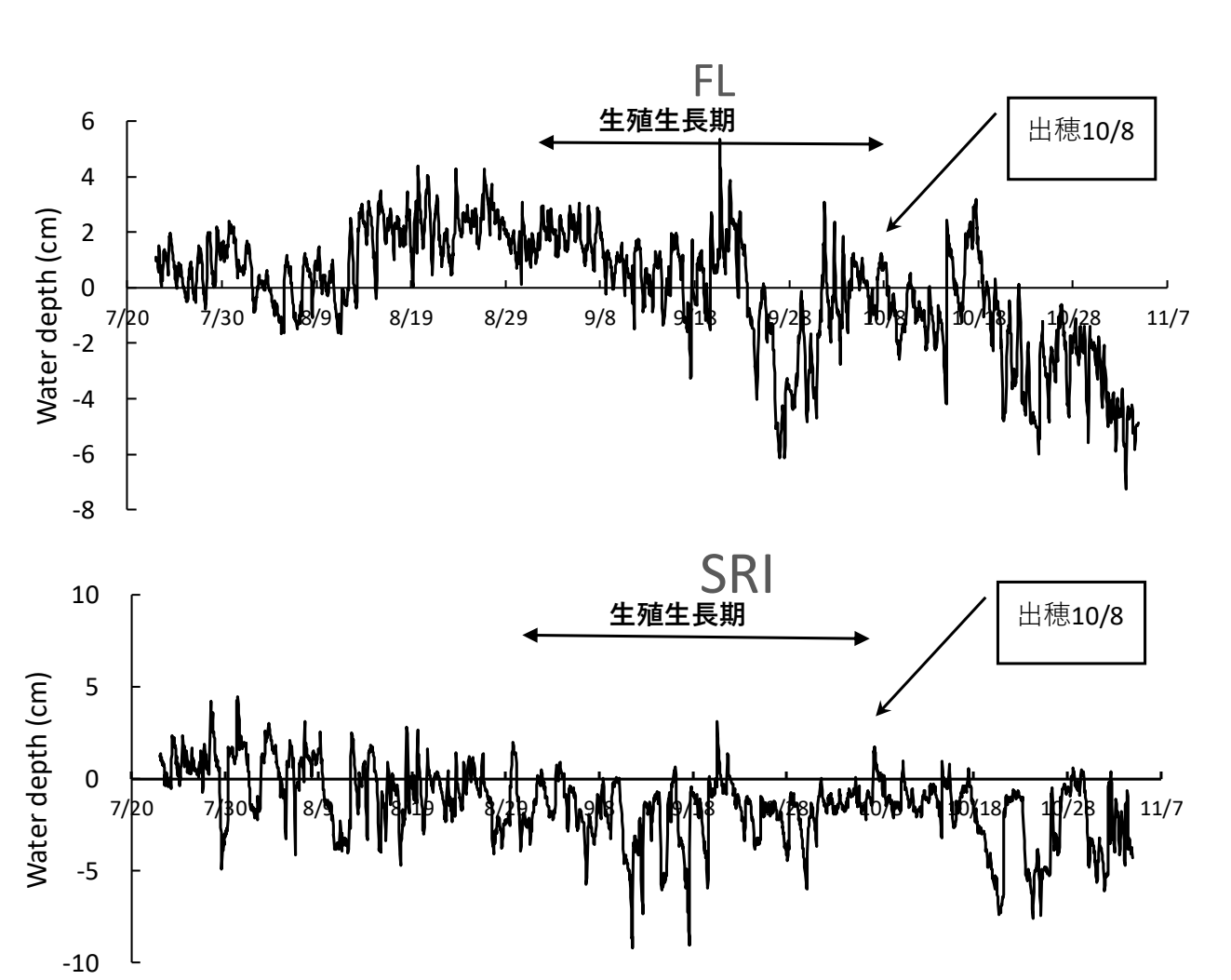
（データ：農家観察日誌を元に点数化）

土壌水分スコア：
1：表面に水はない、　2：表面に一部水がある、　3：湛水



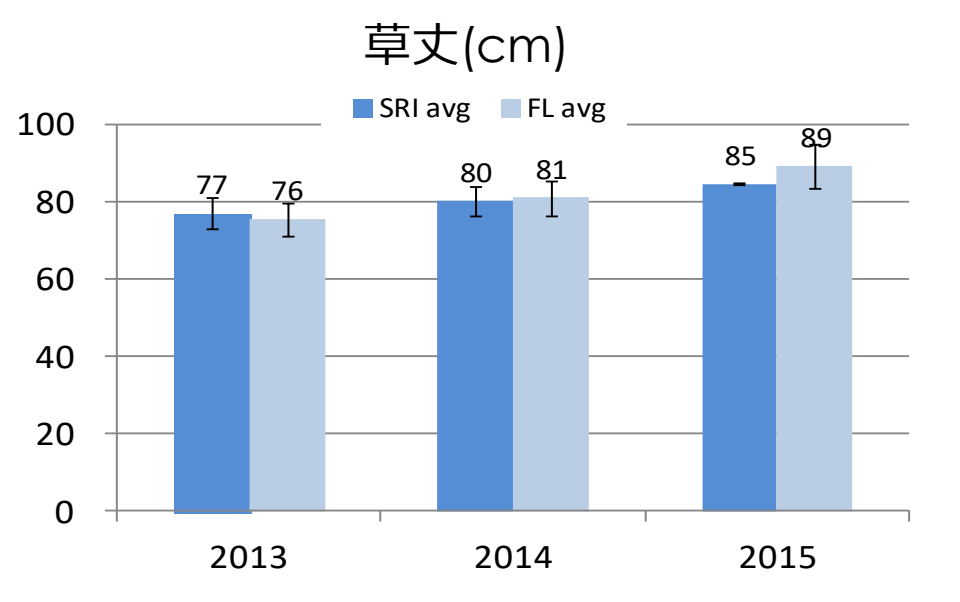
標準SRIでは生育初期の間断灌漑　⇒この多収農家は生殖生長期も間断灌漑

毎時平均水位の事例

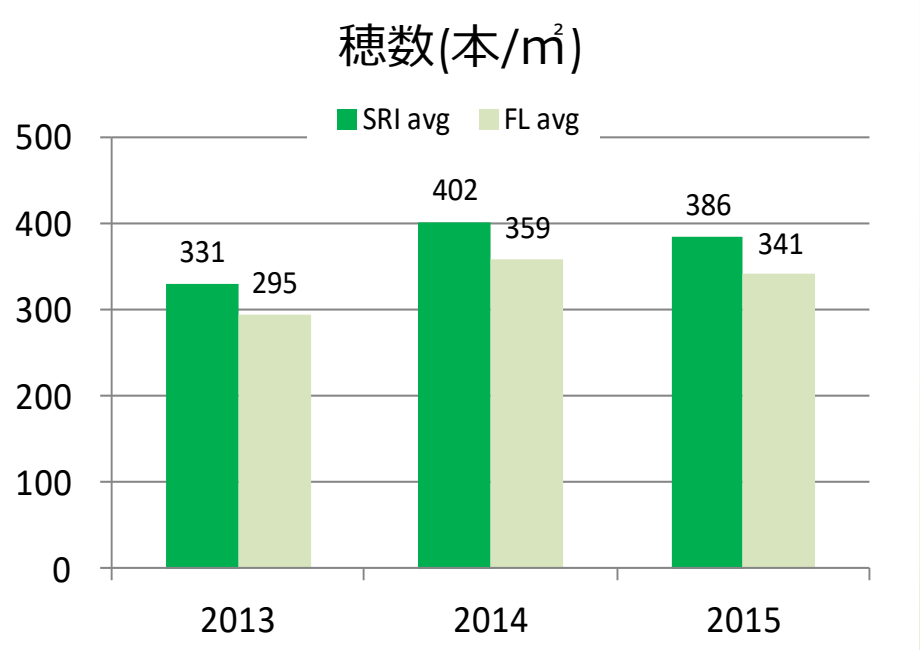


SRI区では栄養生長期の間断灌漑に引き続き、生殖生長期も好気的な水管理が継続していた

草丈と穂数

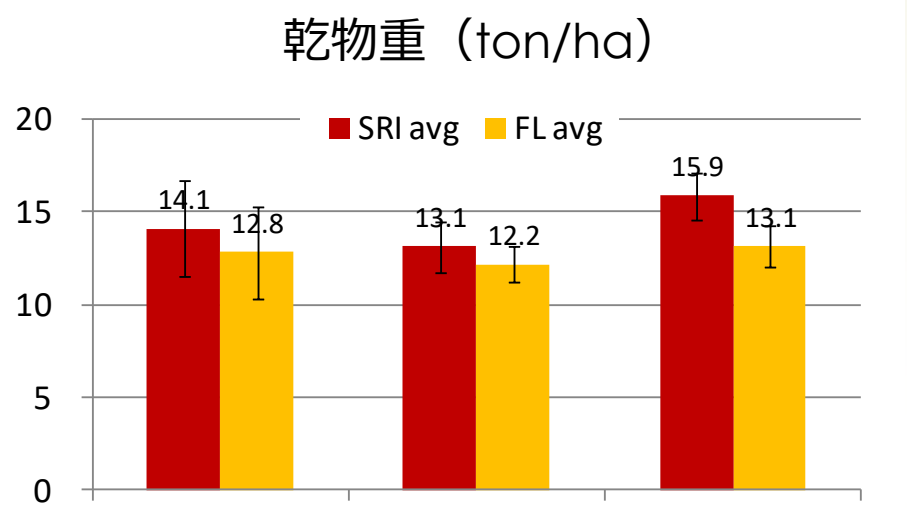


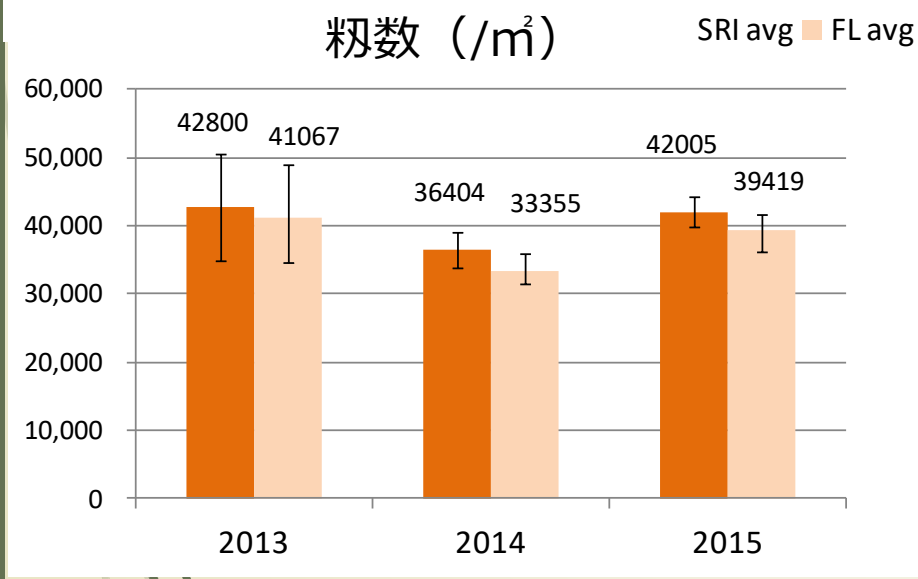
草丈には差はない

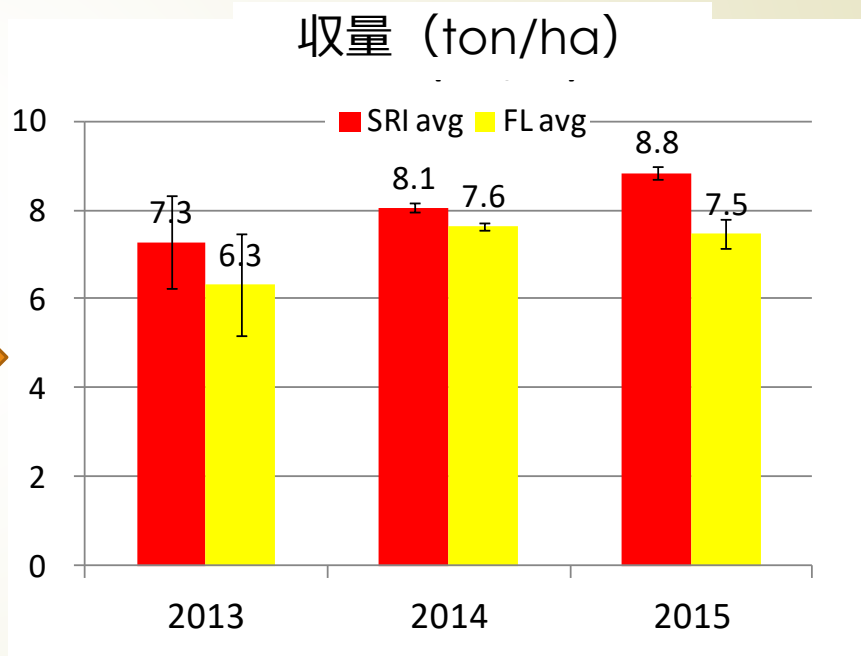


穂数はSRIが有意に多い

SRI間断灌漑が、乾物生産、モミ数、収量の増加に貢献している







SRI　>　FL

水管理の収量への影響

収量(g/㎡)　(粗もみ重、水分15%換算)

水管理	2013	2014	2015	2016	平均	CV(%)
SRI（間断灌漑）	1,202	774	878	922	**944**	19.9
FL（湛水）	1,111	729	746	770	**839**	23.7
指数：SRI/FL (%)	108	106	118	120	**113**	

＃水管理の効果は危険率0.4%で有意

収量向上に間断灌漑が有意な効果を有している

水管理が収量および収量構成要素に及ぼす影響

水管理	収量 g m^{-2}	穂数 m^{-2}	1穂籾数	㎡当たり籾数 m^{-2}
SRI	951	366	111	40,180
FL	862	334	118	38,690
効果 (p=)	0.009	0.036	0.029	0.311

穂数は、間断灌漑で有意に増加したが、１穂籾数が減少したので、面積当たり籾数は有意に増加しなかった

間断灌漑が水稲生育にどの様に作用したのか解析

- 2015年には、収穫した水稲の収量構成要素だけでなく、乾物重、窒素吸収量も測定し、SRI間断灌漑水管理の効果を検討した。
- サンプル数（n=36）で相関分析

水管理（２）×圃場（３）×サンプル(６)＝36

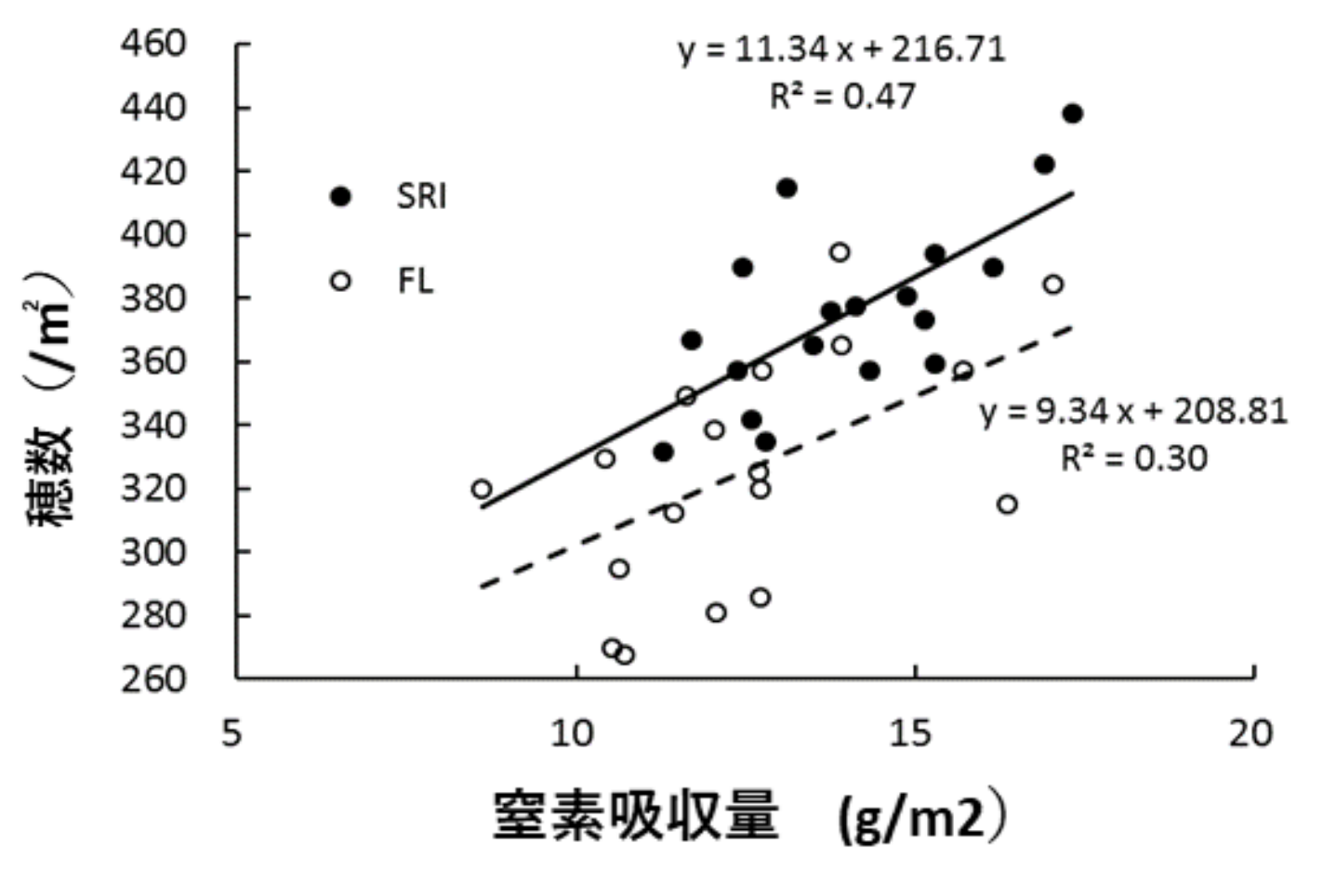
〇検討項目

・窒素吸収量と穂数

・窒素吸収量と㎡あたりモミ数

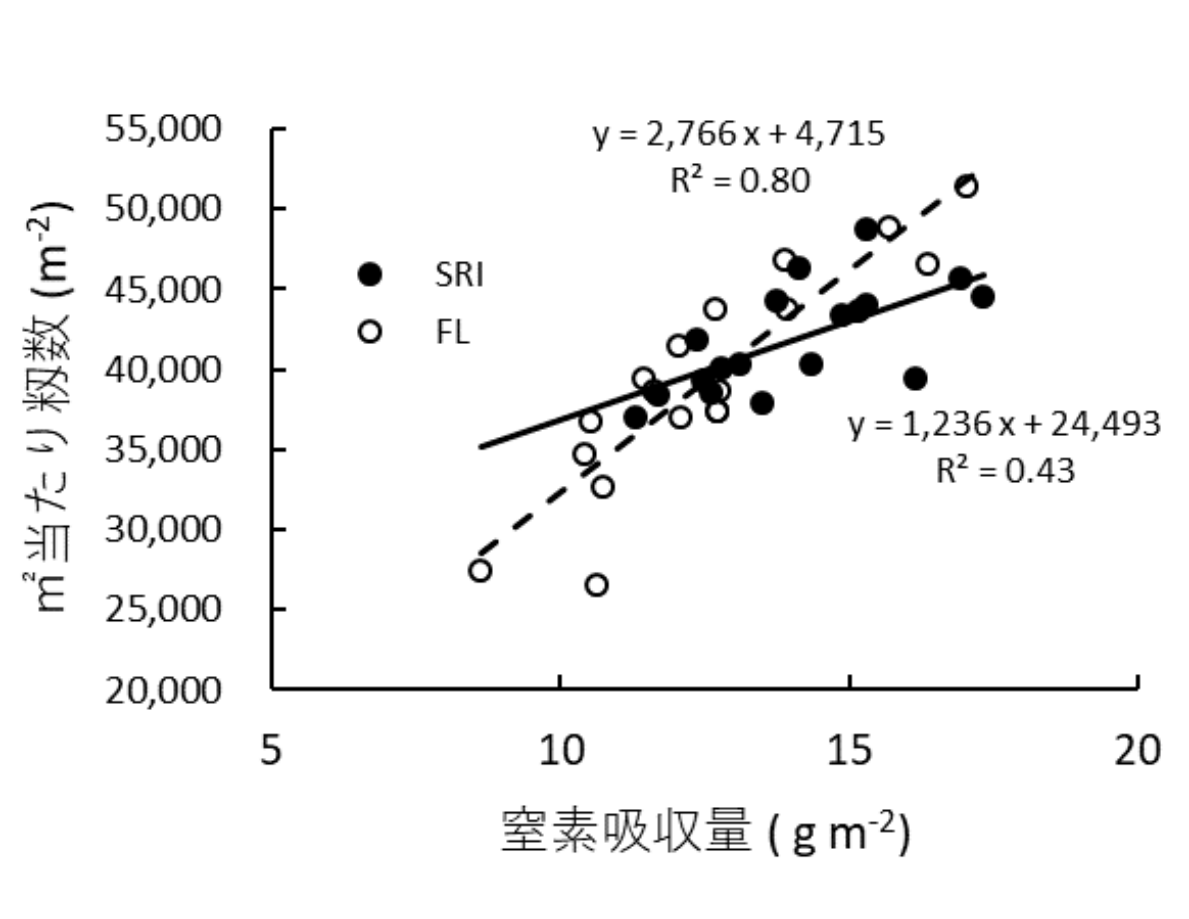
・地上部乾物重と収量

窒素吸収量あたりの穂数生産



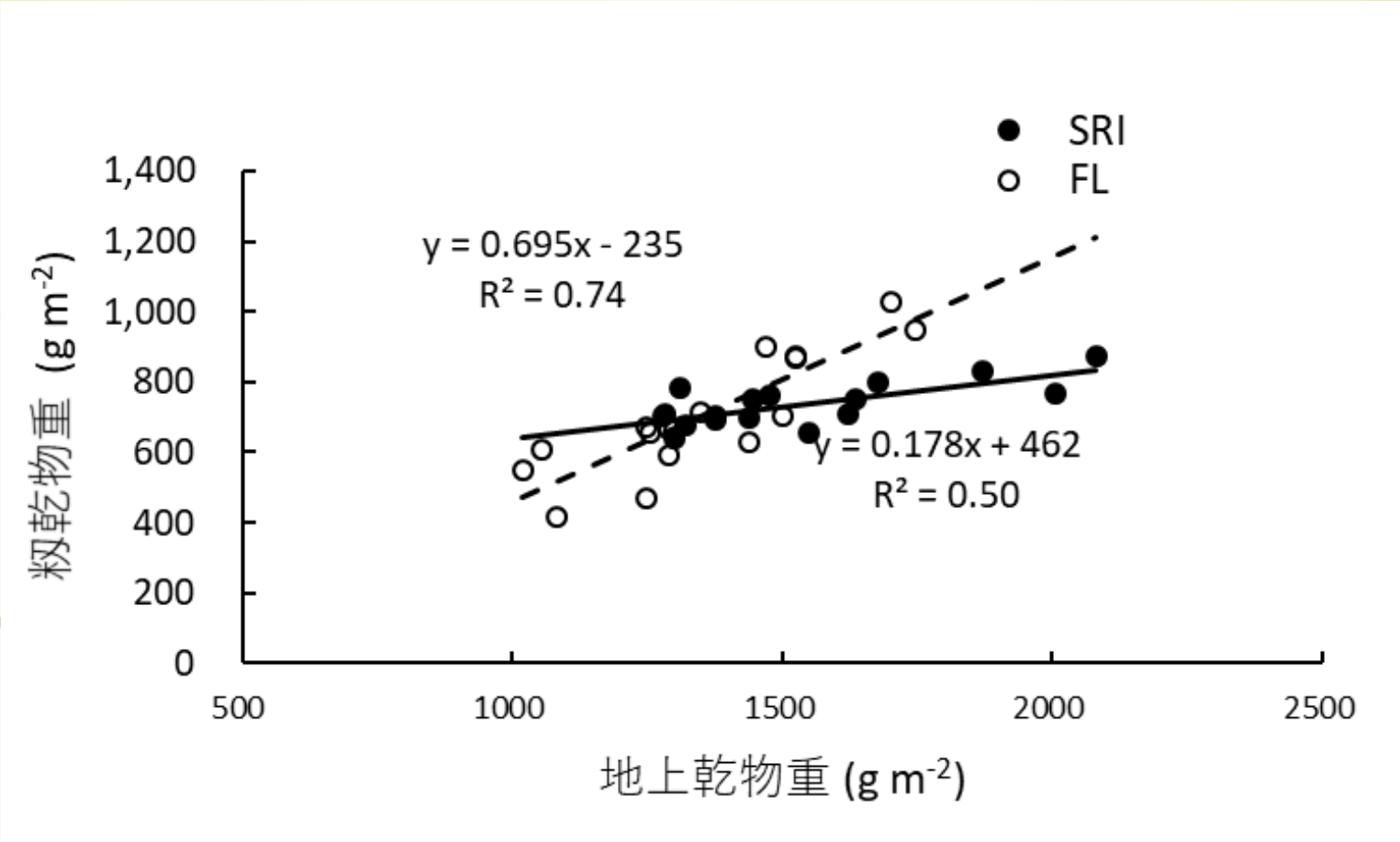
・間断灌漑で、同じ窒素吸収量では穂数は増加した。
・しかし、窒素吸収量あたりの穂数増加率には差が無かった。

間断灌漑区では窒素吸収量が高い領域で籾数が増加しない



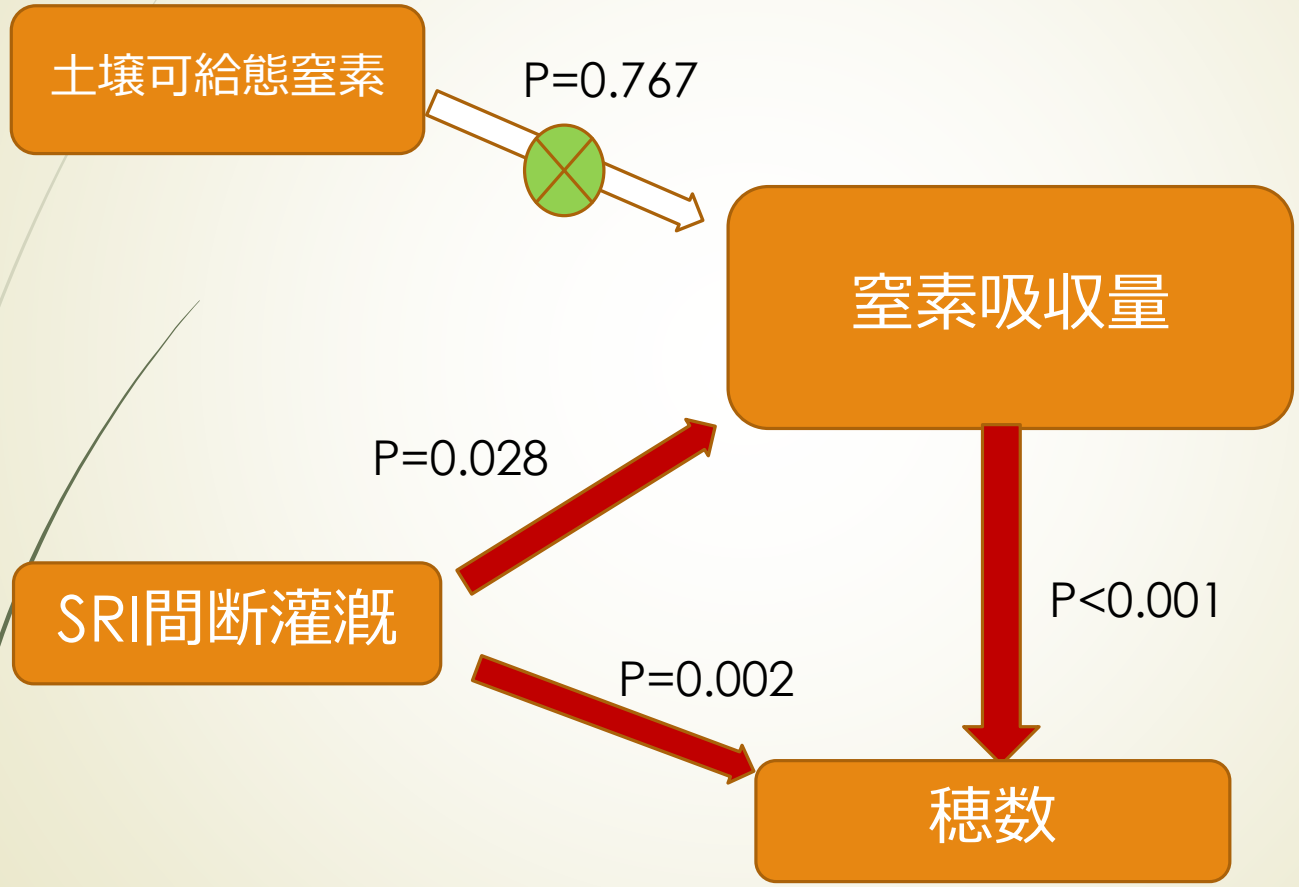
なぜ窒素吸収量が高い領域で籾数が増えなかったのか？

地上部乾物重と粗モミ重の関係



地上部乾物重は間断灌漑区で高かったが、籾重に結び付かなかった

水管理などがN吸収、穂数に及ぼす影響



結論

- SRI間断灌漑による分げつ数の増加が、葉面積を増やし乾物生産の増加をもたらしたと推定される。
- 栄養生長期の間断灌漑が分げつを促進するメカニズムは、不明である。
- 対象としたSRI多収農家は、生殖生長期にも間断灌漑を行ったが、籾数の増加に結び付かず、収量の増加につながらなかった。
- 生殖生長期に窒素追肥を行うか、湛水して水ストレスを回避すれば、籾数減少が防止できて、増加した乾物生産量を収量に結び付けることが出来た可能性がある。

今後の課題

- 栄養生長期の間断灌漑で分げつが増加するメカニズムの解明
- 間断灌漑による分げつの増加が葉面積の増大を通じて、水稲群落の乾物生産量を増加させる条件を解明
- 生殖生長期の追肥、湛水により、より増収が可能かを検討し、現地で実証する。

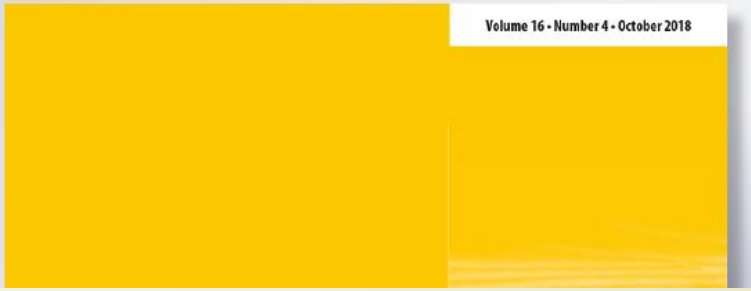
- 研究予算は、日本科研費（2013-2015)⇒インドネシア文科省研究費（2016-2018)⇒？？

詳細は下記論文をご覧ください

Effect of intermittent irrigation following the system of rice intensification (SRI) on rice yield in a farmer's paddy fields in Indonesia

Bayu Dwi Apri Nugroho, Kazunobu Toriyama, Kazuhiko Kobayashi, Chusnul Arif, Shigeki Yokoyama & Masaru Mizoguchi

Paddy and Water Environment

ISSN 1611-2490
Volume 16
Number 4

Paddy Water Environ (2018) 16:715-723
DOI 10.1007/s10333-018-0663-x