

環境研究総合推進費2-1502

GOSAT 等を応用した南アジア域におけるメタンの放出量推定の  
精緻化と削減手法の評価

*Project AMASA*

*Atmospheric Methane and Agriculture in South Asia*

平成27-29年度

累積予算額 (直接経費: 85,460千円

間接経費: 25,630千円

累計: 120,774千円)

代表者(説明者) 林田佐智子

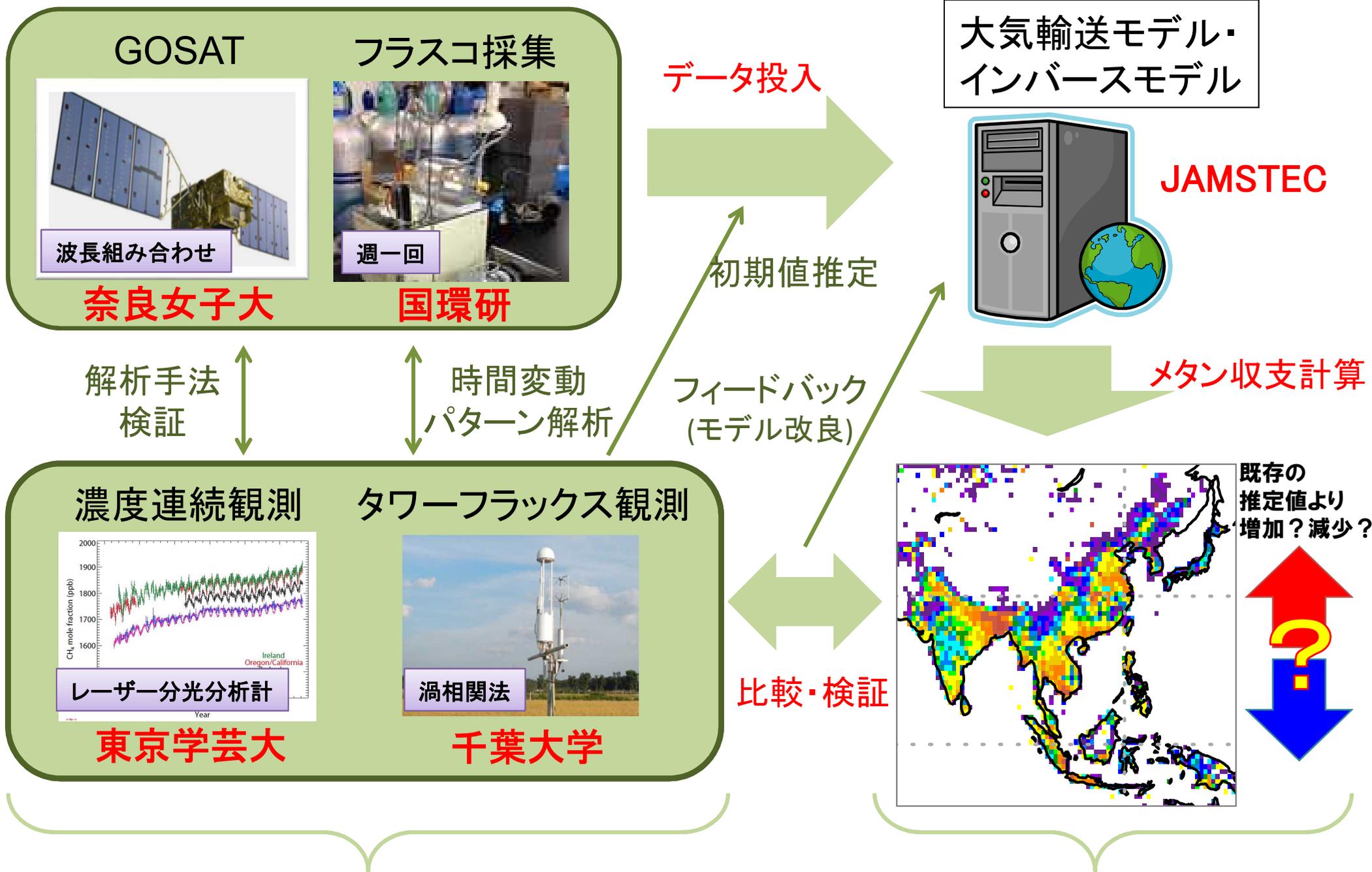
奈良女子大学理学部教授

分担者: 久慈誠、寺尾有希夫、須藤重人、犬伏和之、間野正美、山本昭範、Prabir Patra

# 研究体制\*研究協力者を除く

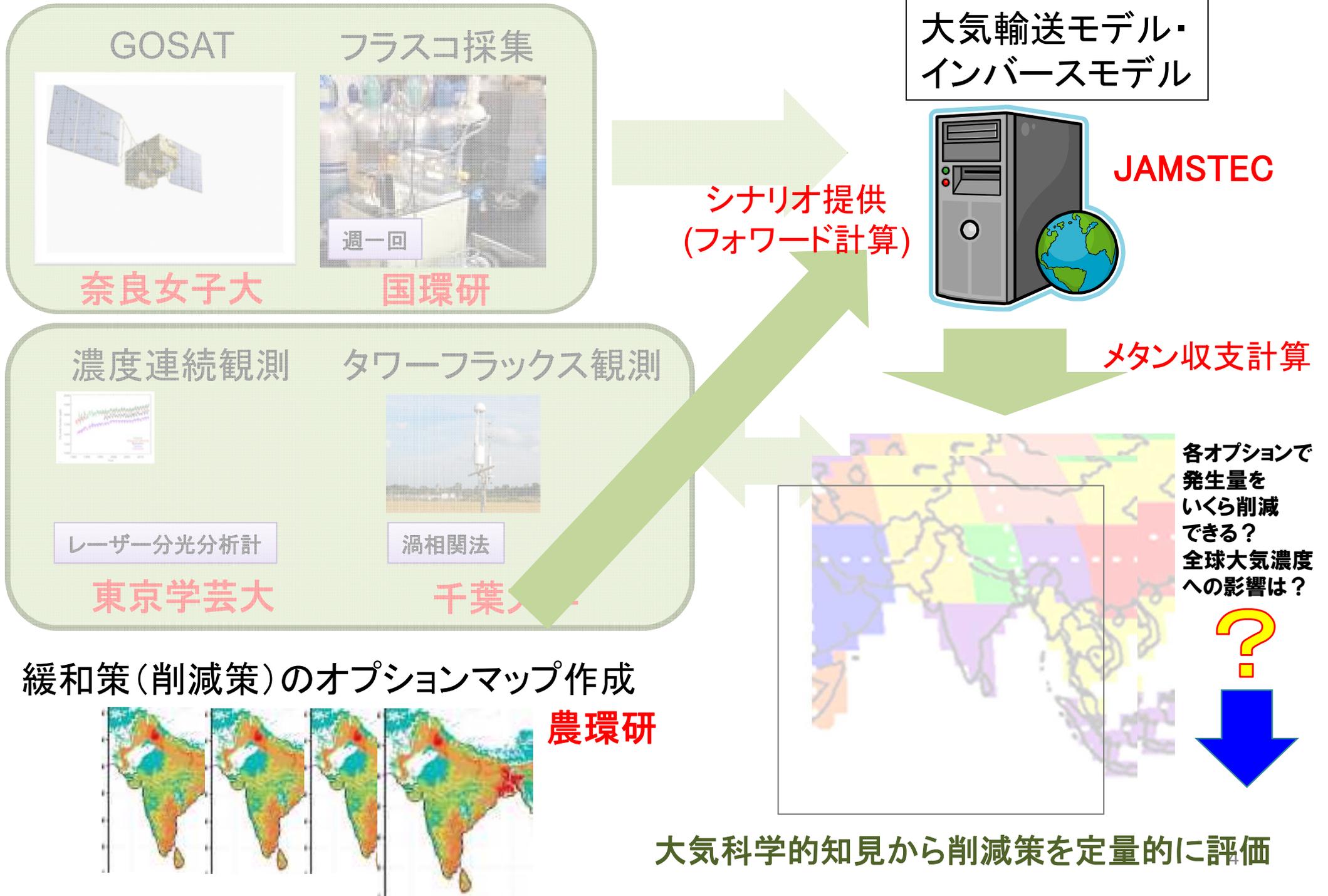
	サブテーマ名	参加者(研究協力者)	所属
1	GOSATデータ利用手法の開発と人工衛星データの複合的解析	林田佐智子(代表) 久慈 誠	奈良女子大学研究院 自然科学系
2	南アジアを中心とした大気メタン濃度計測	寺尾有希夫	国立環境研究所地球環境センター
3	メタン発生緩和策のオプション検討	須藤重人	農研機構農業環境変動研究センター
4	南アジア域におけるメタンフラックスの測定	犬伏和之 間野正美	千葉大学園芸学研究科
5	レーザー分光手法によるメタンの連続観測	山本昭範	東京学芸大学
6	インバース解析によるアジアからのメタン発生量の推定と削減策の評価	Prabir K.Patra	海洋研究開発機構

# 目的 - 1 南アジアのメタン収支推定の精緻化



時空間スケールの異なる観測システムを複合的に利用し、南アジアのメタン収支推定を精緻化

# 目的 - 2 南アジアにおける水田メタン発生削減策の評価



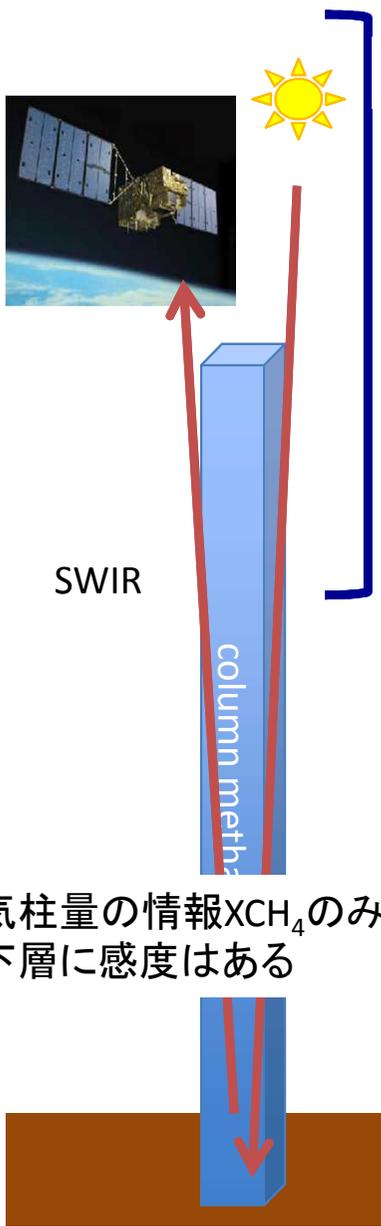
## 目的

本研究では、GOSATなどのデータを有効に利用しつつ、南アジアに着目してメタン発生量推定を精緻化すると共に、メタン削減手法の様々なオプションに対して評価することを目的とする。

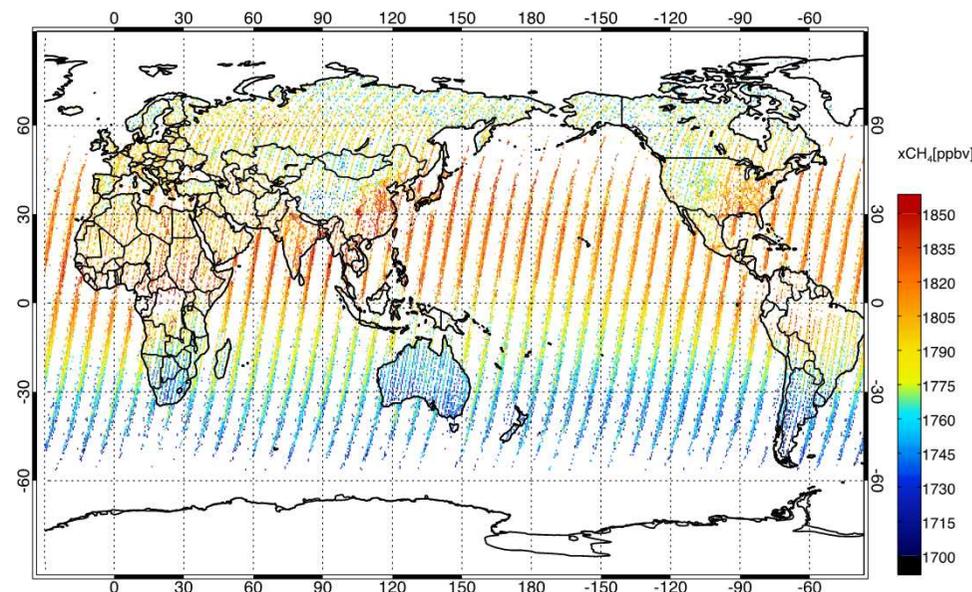
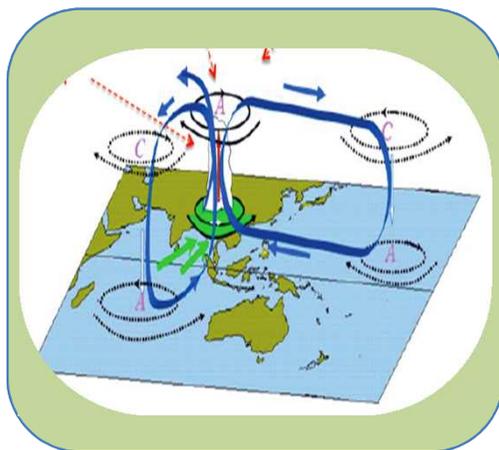
## 本研究で得られた主な成果

- インバース解析によるメタン発生量推定におけるGOSAT気柱量データの活用検討
  - 南アジアではモンスーン循環によるメタンの上空への輸送のため、メタンが上空で高濃度になるプロファイルをしており、気柱量での拘束は難しい (Chandra et al., ACP, 2017)
  - 地上観測に基づくインバース解析を行い、メタン発生量推定を改善した。また上記成果に基づきモデルに必要な改良点を明確にした (Patra et al., JMSJ 2016 他準備中)
- 南アジアにおける水田からのメタン発生量削減方策実証
  - 南インド(タミルナドゥ)における実証実験の結果、稲作からのメタンの放出を24-48%程度削減する可能性を示した (Oo et al., AEE, 2018)
  - この手法による南アジアにおける緩和ポテンシャルを示した (農業雑誌Farmers Forumに特集記事が掲載された)

# GOSAT/SWIRから得られるのは気柱量 発生量の推定量改善を目指すために必要なこと



モンスーン循環による鉛直輸送



GOSATのXCH<sub>4</sub>

高度分布情報の不足

時間情報の偏り

気柱量の情報XCH<sub>4</sub>のみ  
下層に感度はある

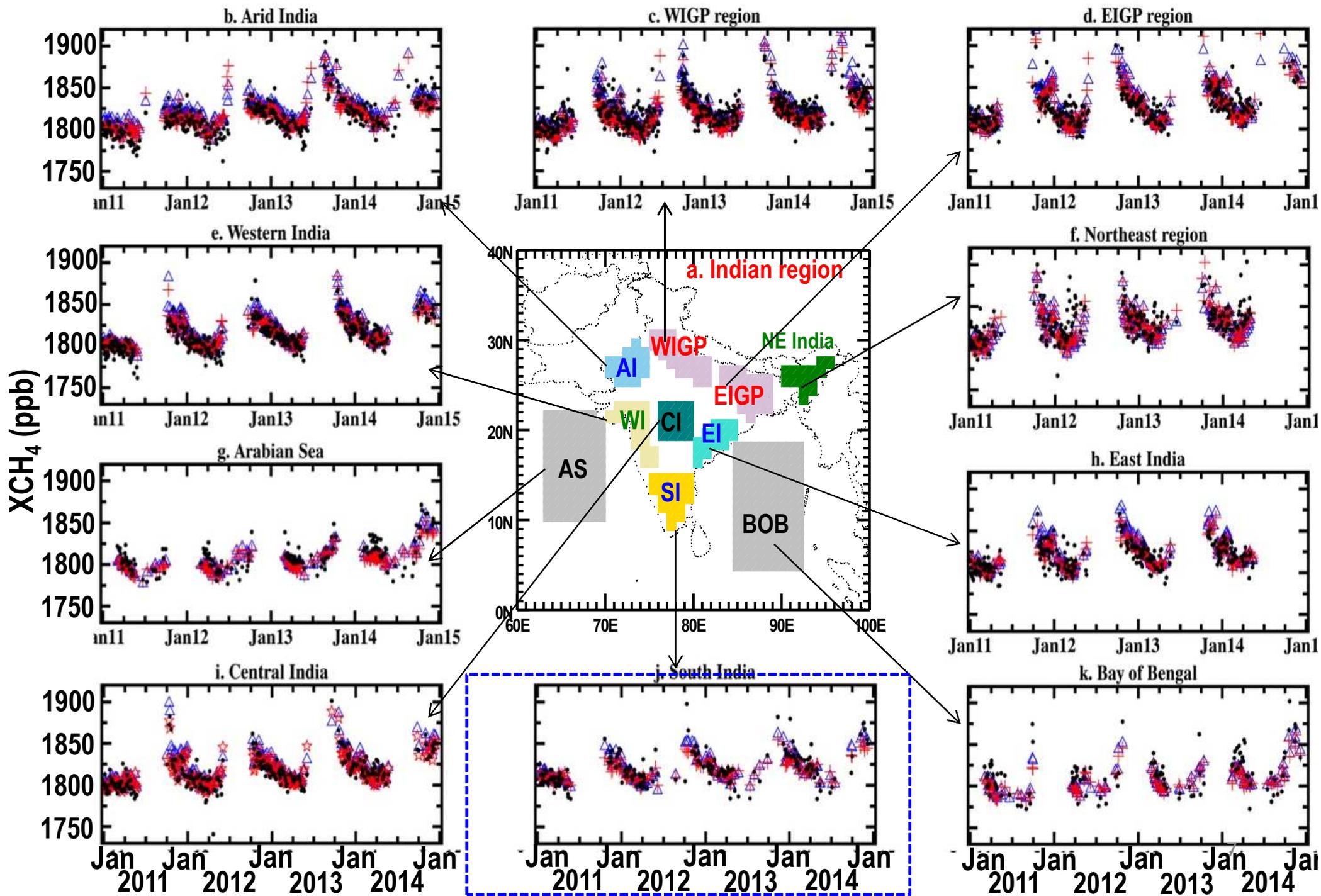
現地大気観測(フラスコサンプリング+レーザーメタン連続観測)

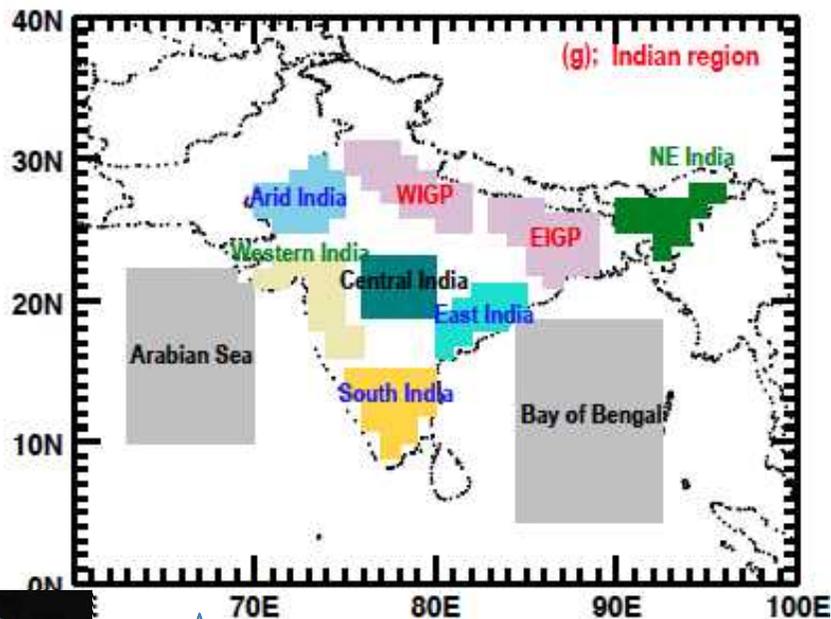
GOSAT  
XCH<sub>4</sub>

ACTM/インバースシステム(JAMSTEC)への投入  
発生量推定の精緻化

● ● GOSAT    + + ACTM\_AGS    ▲ ▲ ACTM\_CTL

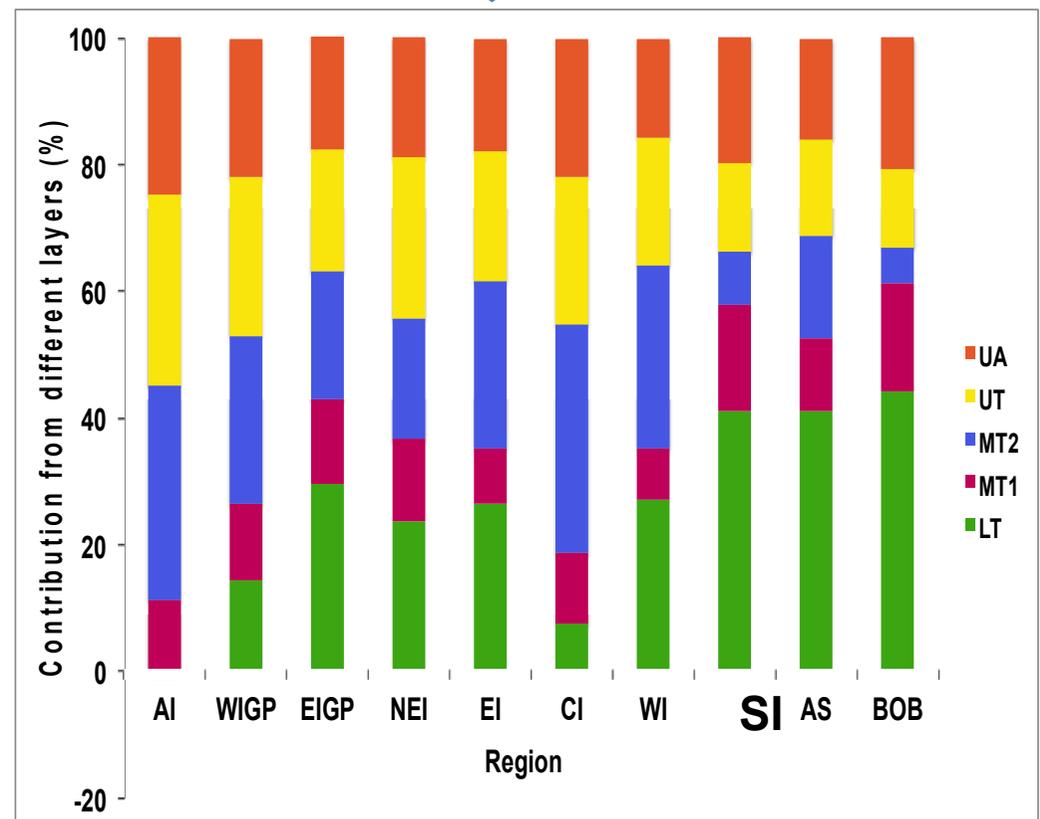
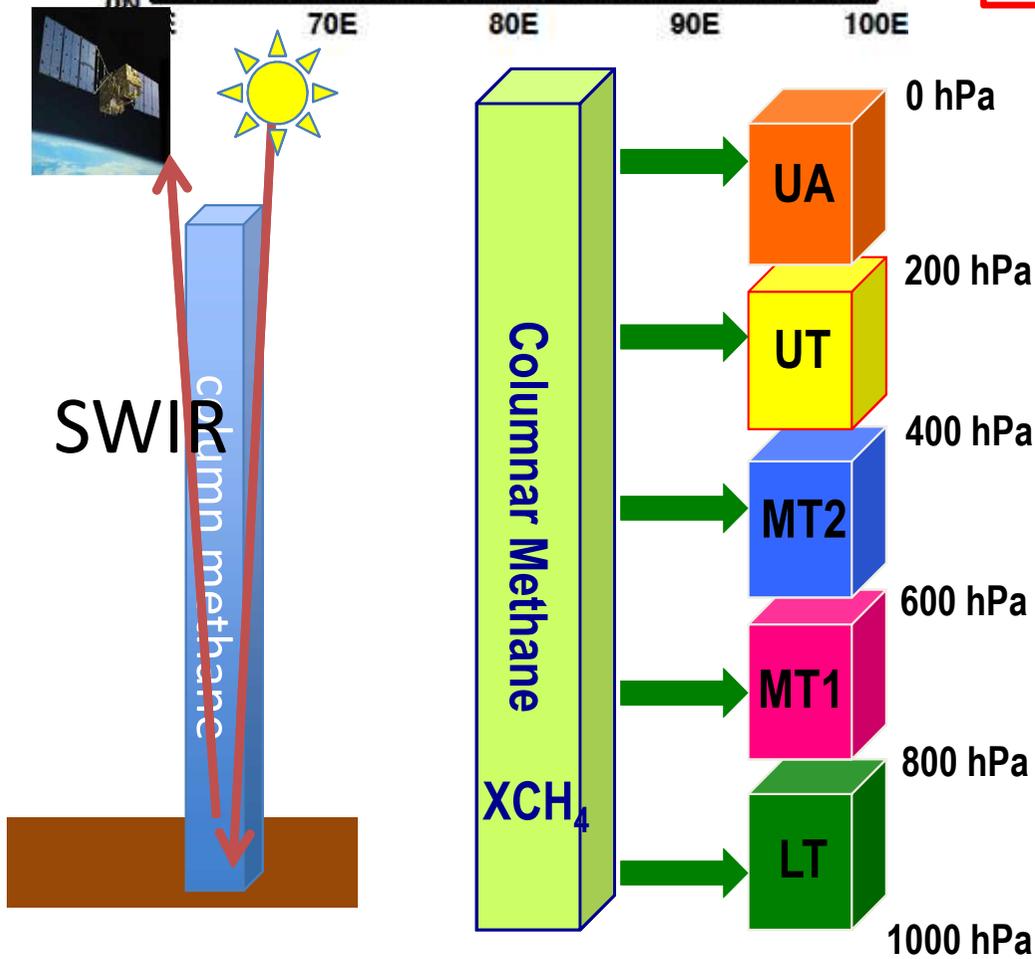
Chandra et al., Atmos. Chem Phys. (2017)





気柱量( $XCH_4$ )は必ずしも大気下層(エミッションの影響を直接受ける)のメタン濃度を反映せず中部・上部対流圏のメタン濃度を強く反映している。その効果は南インド全体に及ぶ。

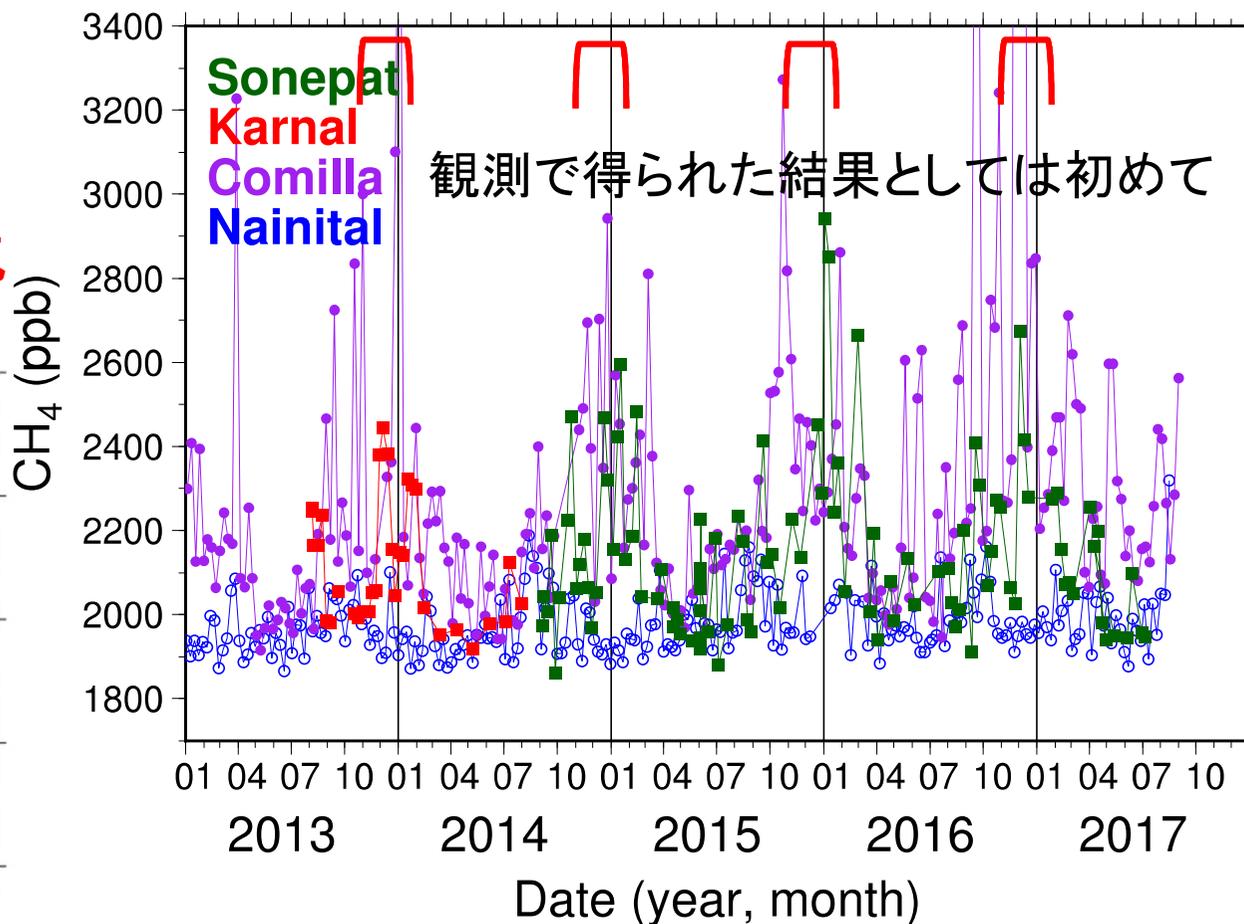
大気を5層に分け、高度毎の部分気柱量をモデルから求め、どの高度層が全量( $XCH_4$ )の季節変動に寄与したかをパーセントで示した。



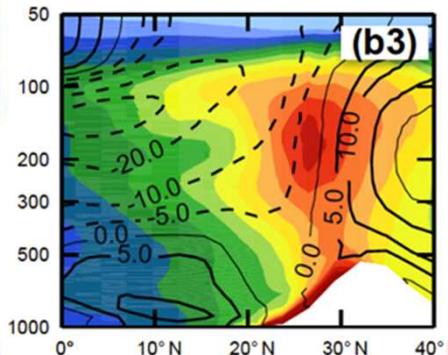
# フラスコサンプリングによるメタン濃度観測

北インド: 周囲のメタン放出量の多い時期ではない冬季に最大になる!

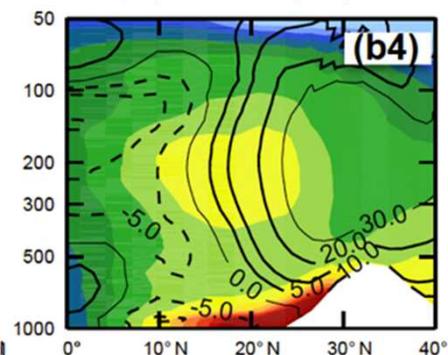
推進費H24-26でKarnalにサイト新設、H27-29はSonepatで継続観測。  
北インド水田地帯で4年以上の大気GHG濃度観測を実施!



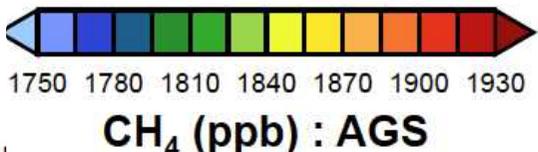
モンスーン(7-9月)



冬(10-12月)

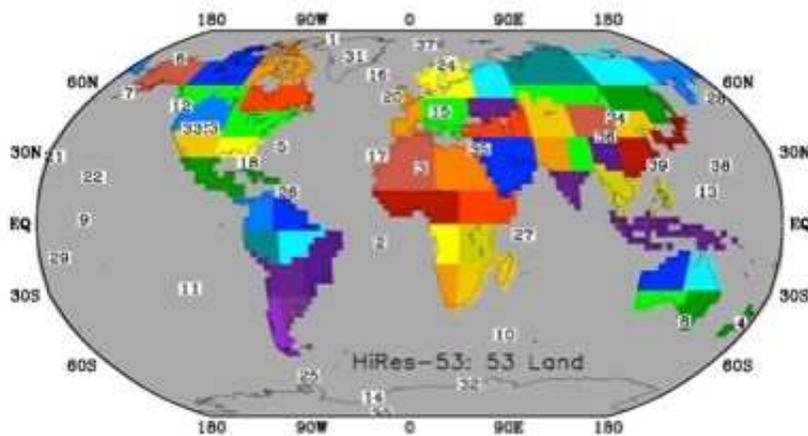


モデルでは冬季最大が示唆されている (化学的消滅が遅いことと輸送効果)

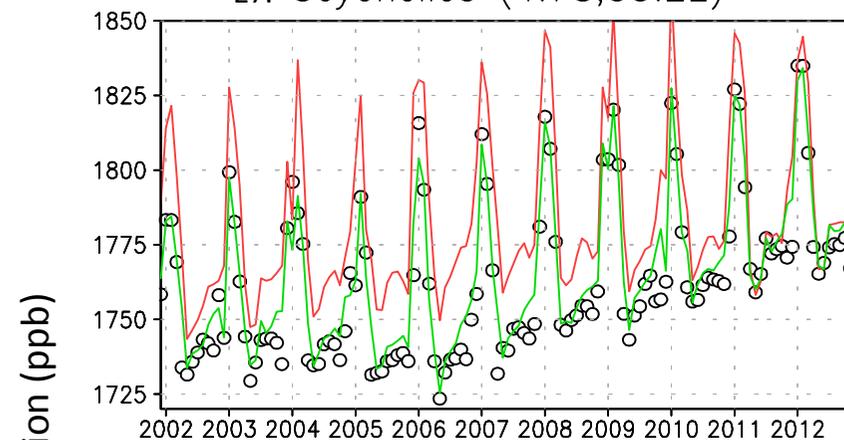


53-Regions (land only) Inverse Model for CH<sub>4</sub>

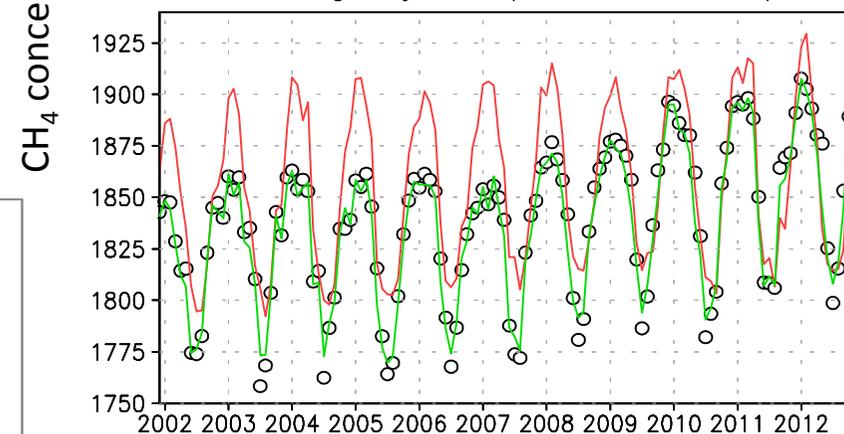
Patra et al., J. Meteorol. Soc. Jpn., 2016



27. Seychelles (4.7S,55.2E)



39. Yonagunijima (24.5N,123.0E)



メタン(CH<sub>4</sub>)の、ACTMのシミュレーション結果と観測値(黒丸)の比較。モデルの結果は実線で示されている。赤: ACTM-T106でフォワード計算されたメタン濃度。緑: インバース解析(INV)で得られたメタン濃度。

$$C_S = (G^T C_D^{-1} G + C_{S_0}^{-1})^{-1}$$

$$S = S_0 + (G^T C_D^{-1} G + C_{S_0}^{-1})^{-1} G^T C_D^{-1} ([D + \epsilon_D] - [D_{ACTM} + \epsilon_M])$$

$S_0$  = regional prior sources

$C_{S_0}$  = Prior source covariance = 50% of region-total emission for each month

$D$  = atmospheric concentration data

$C_D$  = Data covariance = 10 ppb; 5 ppb for measurements + 5 ppb for model

$D_{ACTM}$  = ACTM simulation using  $S_0$

$G$  = Green's functions for regional source-receptor relationships

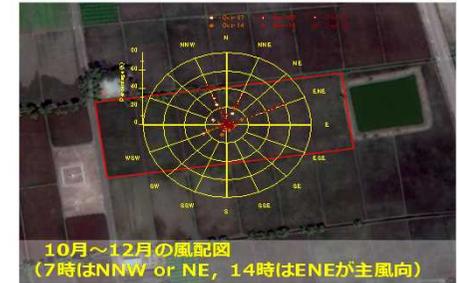
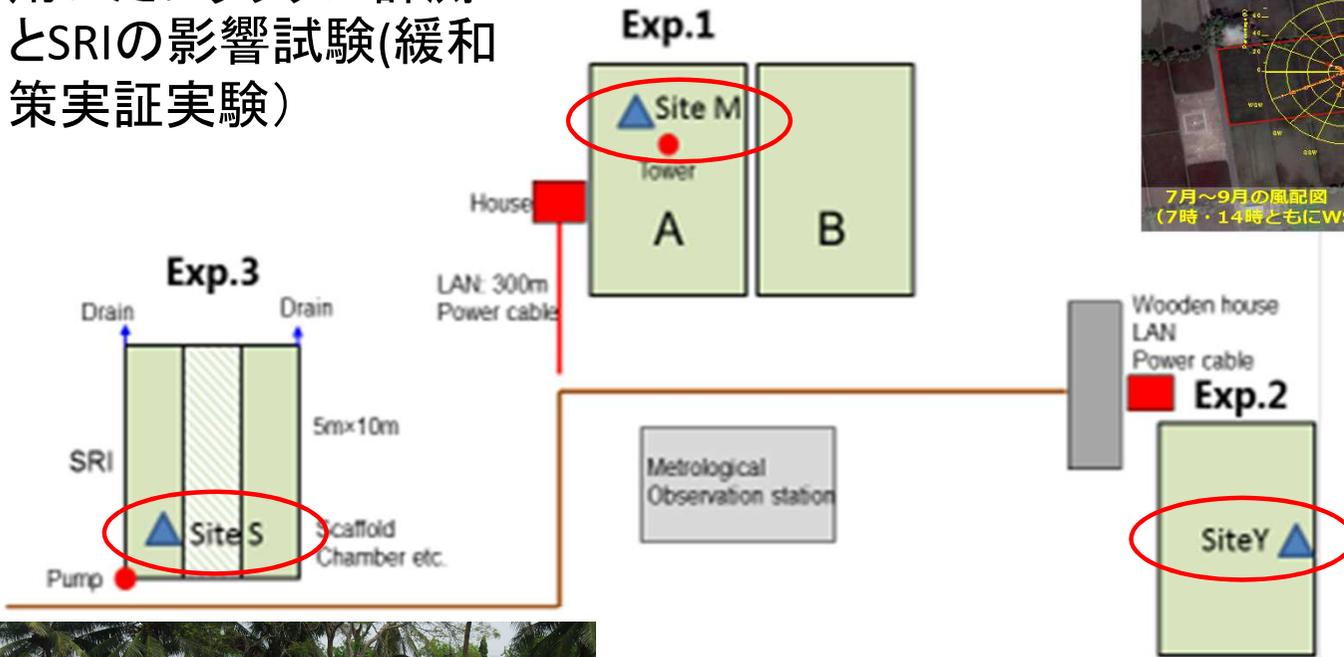
$C_D$  (random uncertainty) in  $D$  is important for a posteriori emission uncertainty, but any **systematic bias** in observed ( $\epsilon_D$ ) and model ( $\epsilon_M$ ) values are critical for estimated emission

# TRRIの実験区画:3つの実験を並行して実施

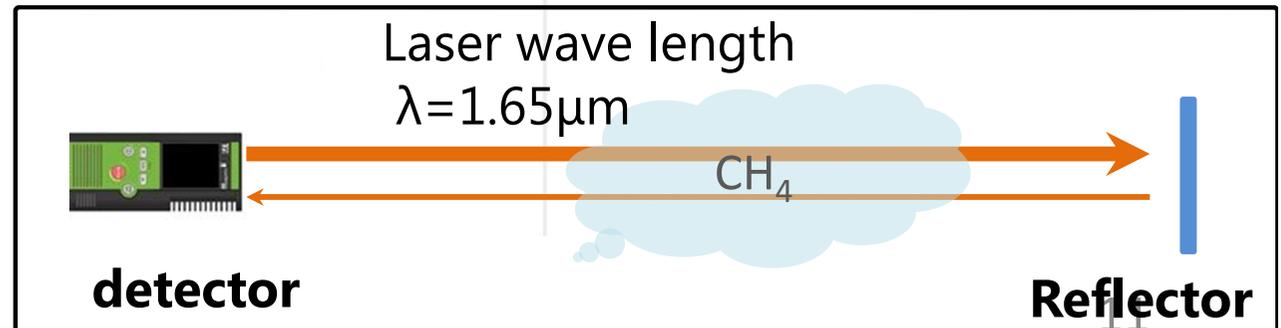
Site S,M,Yでは土壌サンプルも取得

(サブ3)チャンバーを用いたフラックス計測とSRIの影響試験(緩和策実証実験)

(サブ4)タワーを用いた渦相関法によるフラックス計測

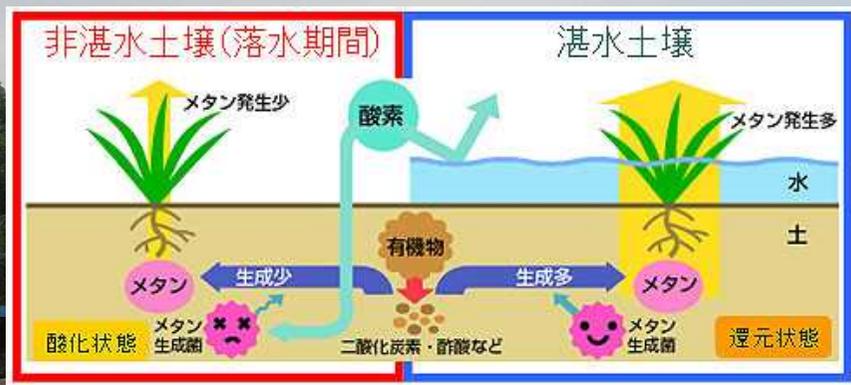


(サブ5)レーザーメタン計を用いた大気メタン連続計測



# TRRIにおけるメタン発生緩和策実証実験(SRI+AWD)

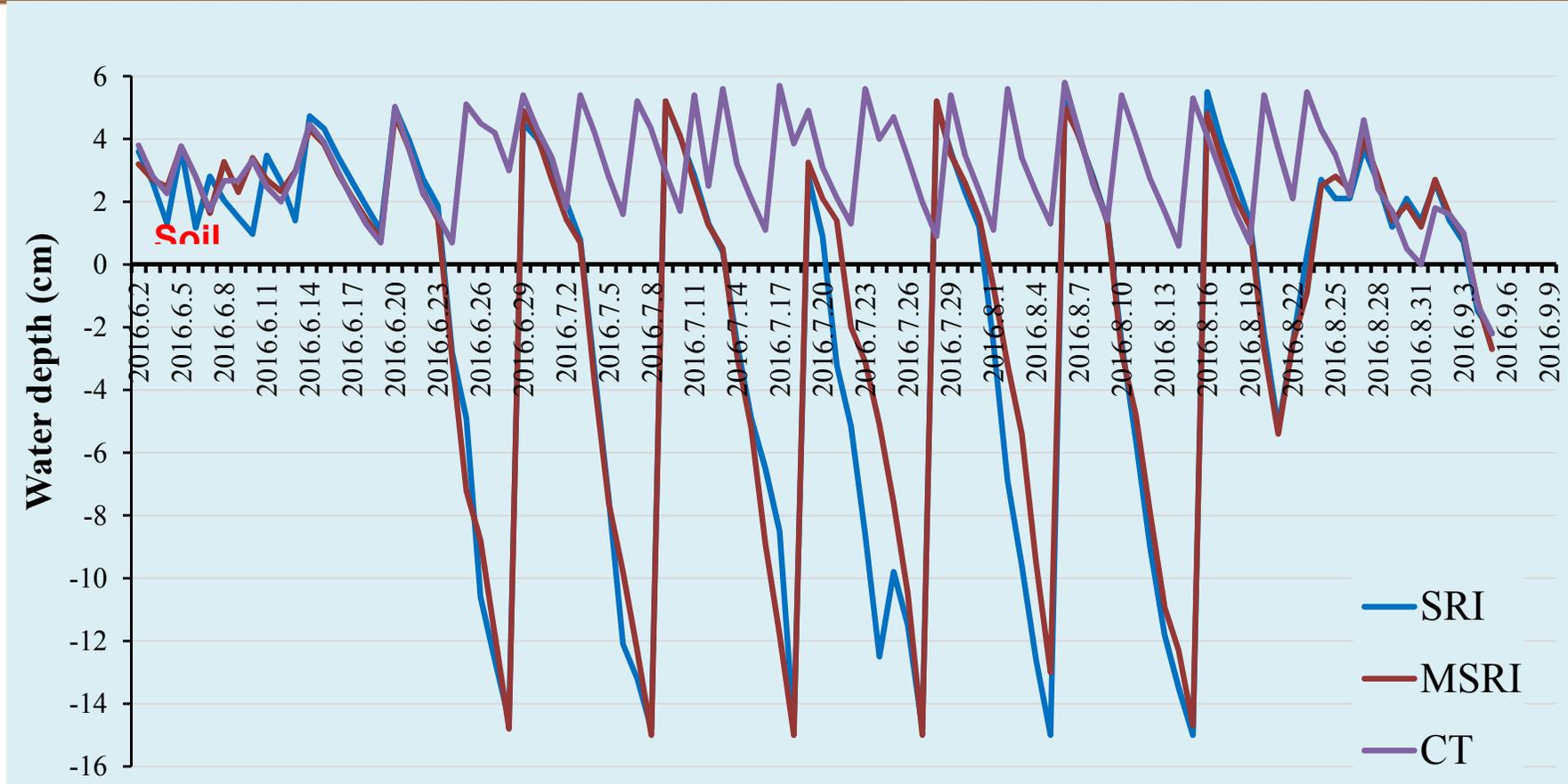
SRI(System of Rice Intensification)栽培法による収量増とメタン削減の両立について試験を行う。写真は実験の様子



長期間、苗床で生長させた苗のうち、生育の良好な苗を選別  
一カ所に1本植えて多くの茎数を確保

水管理はAWD(alternative wetting drying: 間欠的に湛水する方法)に  
準じた節水的な水管理を行う

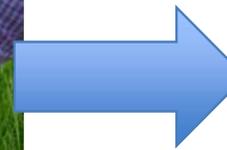
AWD(alternative wetting and drying: 間欠的に湛水する方法)



チャンバー内の空気を  
採集  
(濃度の時間変化から  
フラックスを推定)



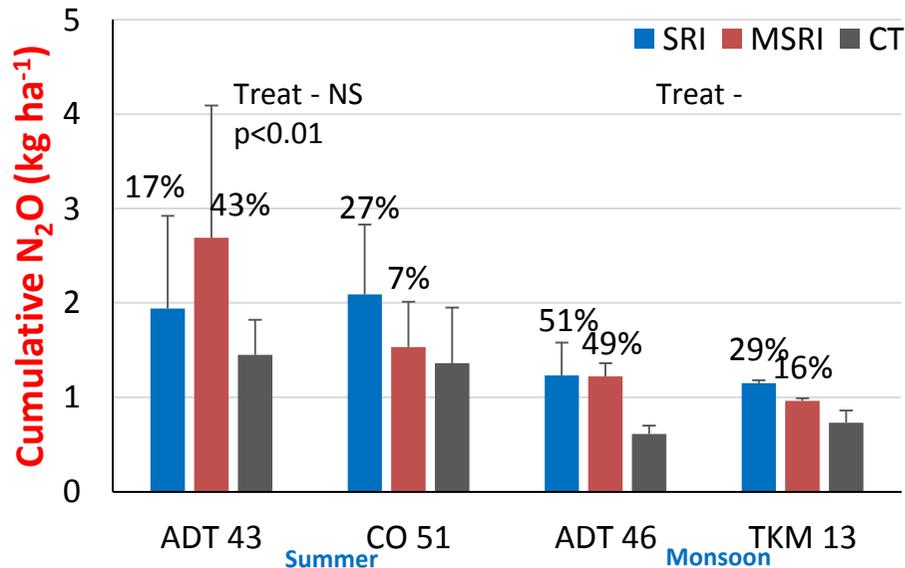
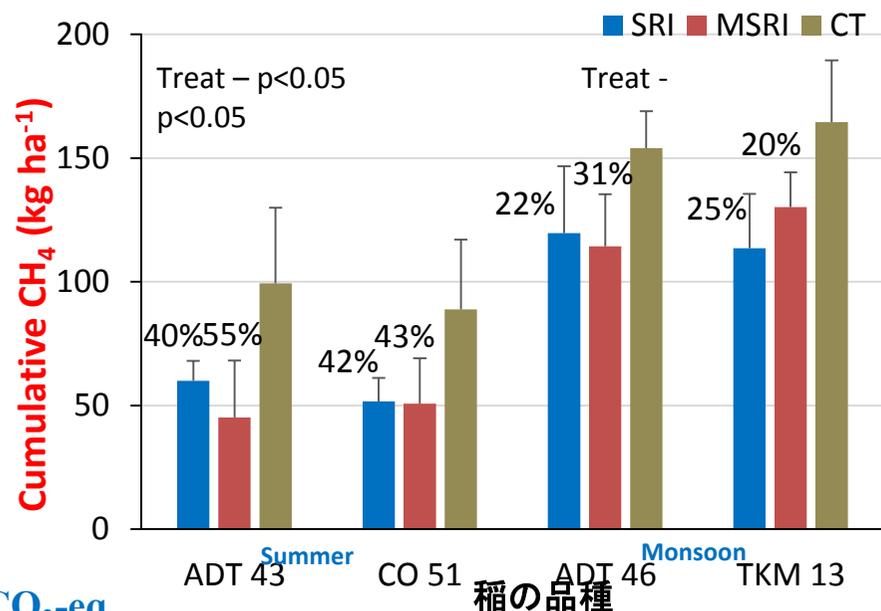
日本へ輸送



NIAESで分析

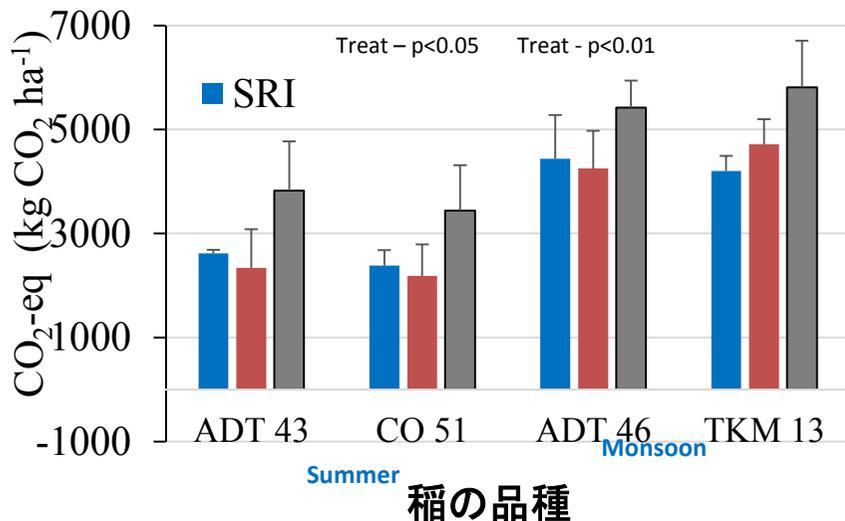
## メタン(CH<sub>4</sub>)と一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)の発生積算量

CTは従来の方法



Data in % represent relative decrease (CH<sub>4</sub>) or increase (N<sub>2</sub>O) over CT.

## CO<sub>2</sub>-eq



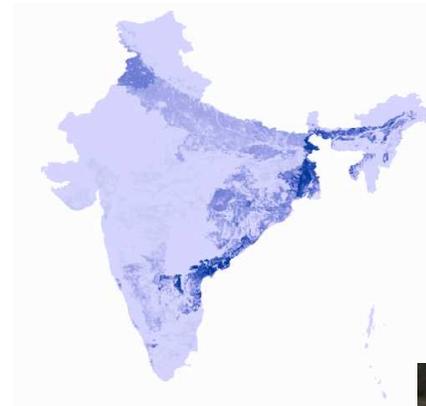
- MSRIはCH<sub>4</sub>の発生を抑制するが、N<sub>2</sub>Oはやや増加
- 等価CO<sub>2</sub>換算で、N<sub>2</sub>Oの増加効果はCH<sub>4</sub>減少分より少ない
- 合計としてMSRIは温室効果気体抑制効果がある。

Oo et al., AEE, 2018



# メタン発生緩和策のオプション検討 —緩和ポテンシャルマップの作成—

1. インド国内から取得した各種データから水田からのメタン放出を推定(精緻化)

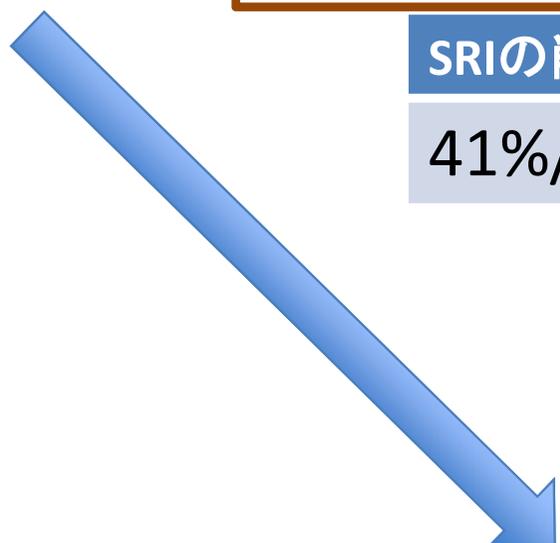


今回のメタン発生推定 (Tg/a/year)	既往文献 (Yan et al. 2009) の値
9.695	6.08



2. 現地実験により、SRI-AWDの有効性実証メタン削減量の数値化

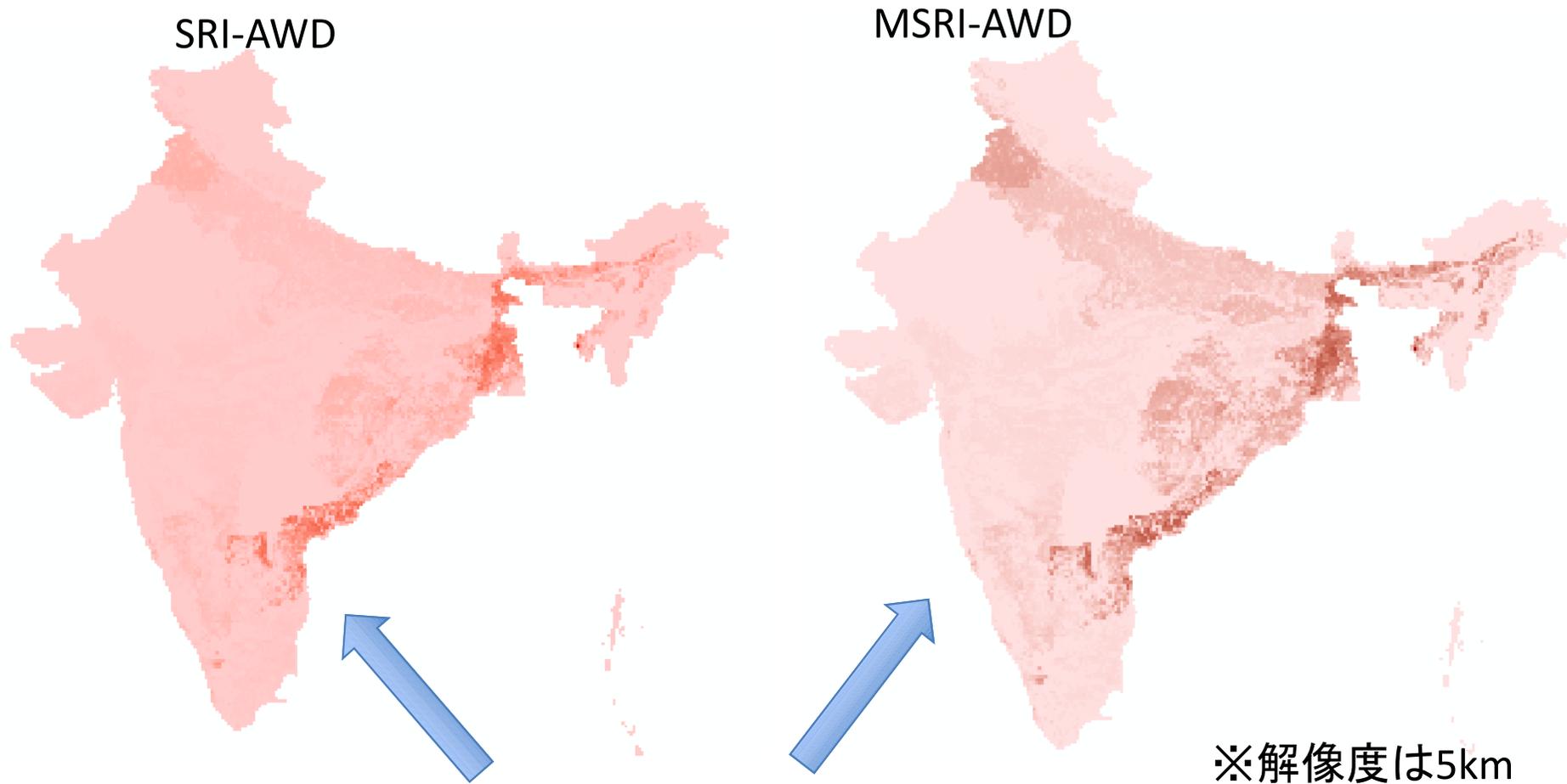
SRIの削減量 (乾季/雨季)	MSRIの削減量 (乾季/雨季)
41%/24%	48%/26%



3. 上記を組み合わせることでインド全域の緩和ポテンシャル推定

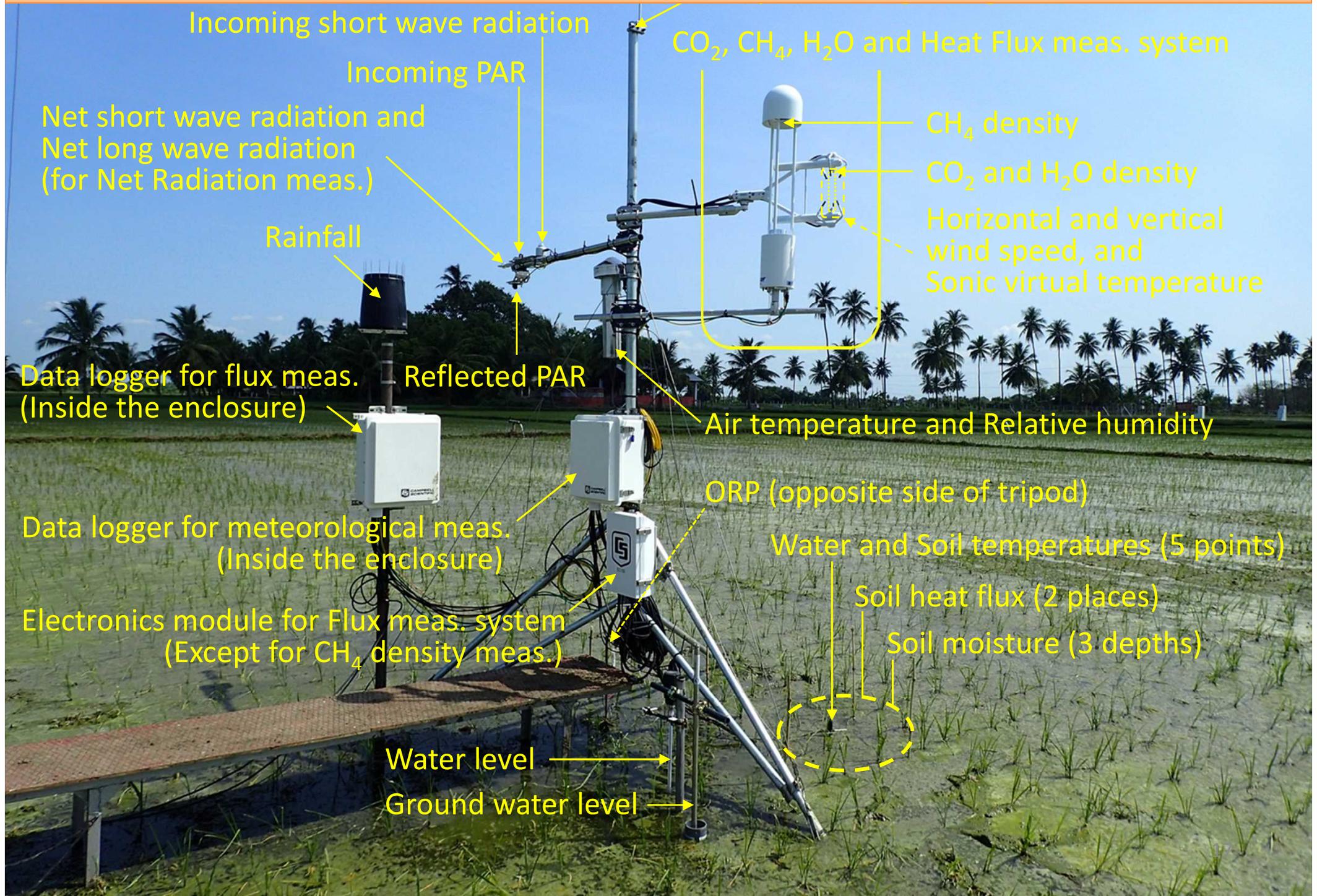
CT(慣行) (Tg/a/year)	SRI適用 (Tg/a/year)	MSRI適用 (Tg/a/year)
9.695	6.913	6.585

#### 4. 上インド全域の緩和ポテンシャルを 地図として視覚化



CT(慣行) (Tg/a/year)	SRI (Tg/a/year)	MSRI (Tg/a/year)
9.695	6.913	6.585

色が濃いほど  
メタンの削減ポテンシャル大



Incoming short wave radiation

Incoming PAR

Net short wave radiation and  
Net long wave radiation  
(for Net Radiation meas.)

Rainfall

Data logger for flux meas.  
(Inside the enclosure)

Reflected PAR

Data logger for meteorological meas.  
(Inside the enclosure)

Electronics module for Flux meas. system  
(Except for CH<sub>4</sub> density meas.)

Water level

Ground water level

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O and Heat Flux meas. system

CH<sub>4</sub> density

CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O density

Horizontal and vertical  
wind speed, and  
Sonic virtual temperature

Air temperature and Relative humidity

ORP (opposite side of tripod)

Water and Soil temperatures (5 points)

Soil heat flux (2 places)

Soil moisture (3 depths)

## ①南アジア域におけるメタンフラックスの測定

バングラデシュ・インドの二期・三期作水田において同地域・生態系では世界初となる メタンフラックスの連続測定 を開始・継続した。



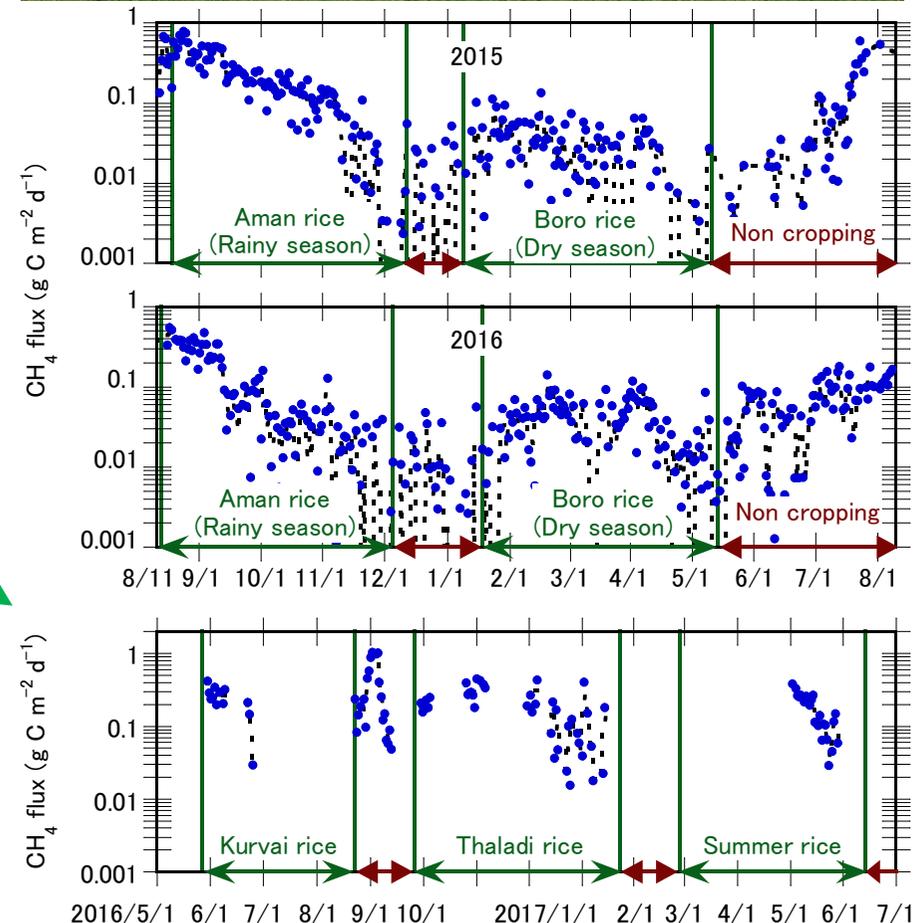
## ②メタンフラックスの特徴

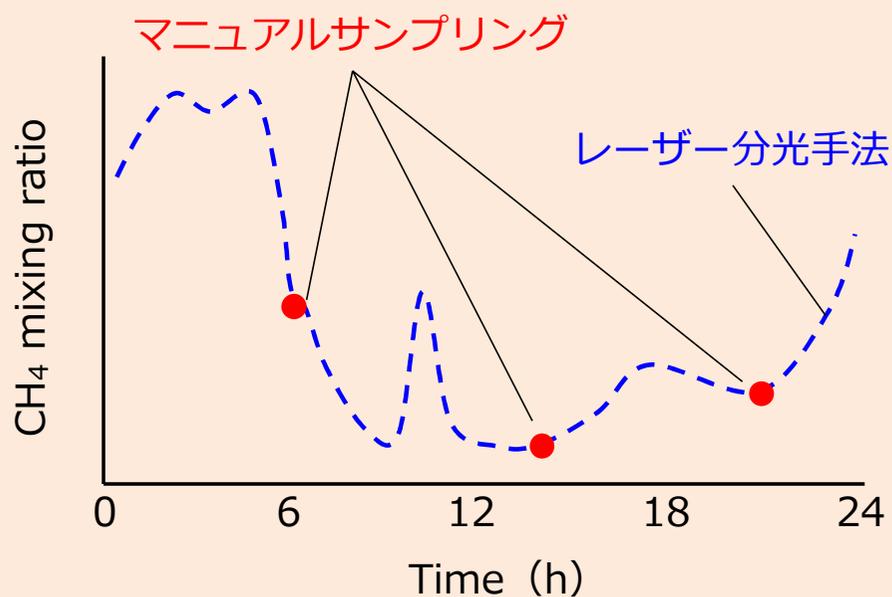
## バングラデシュ・二期作水田

- 明瞭な季節・作期変動、年々変化もあり。
  - 夏季 非耕作期の放出・年変動が大きい。
- 圃場管理による放出量削減の可能性。

## インド・三期作水田

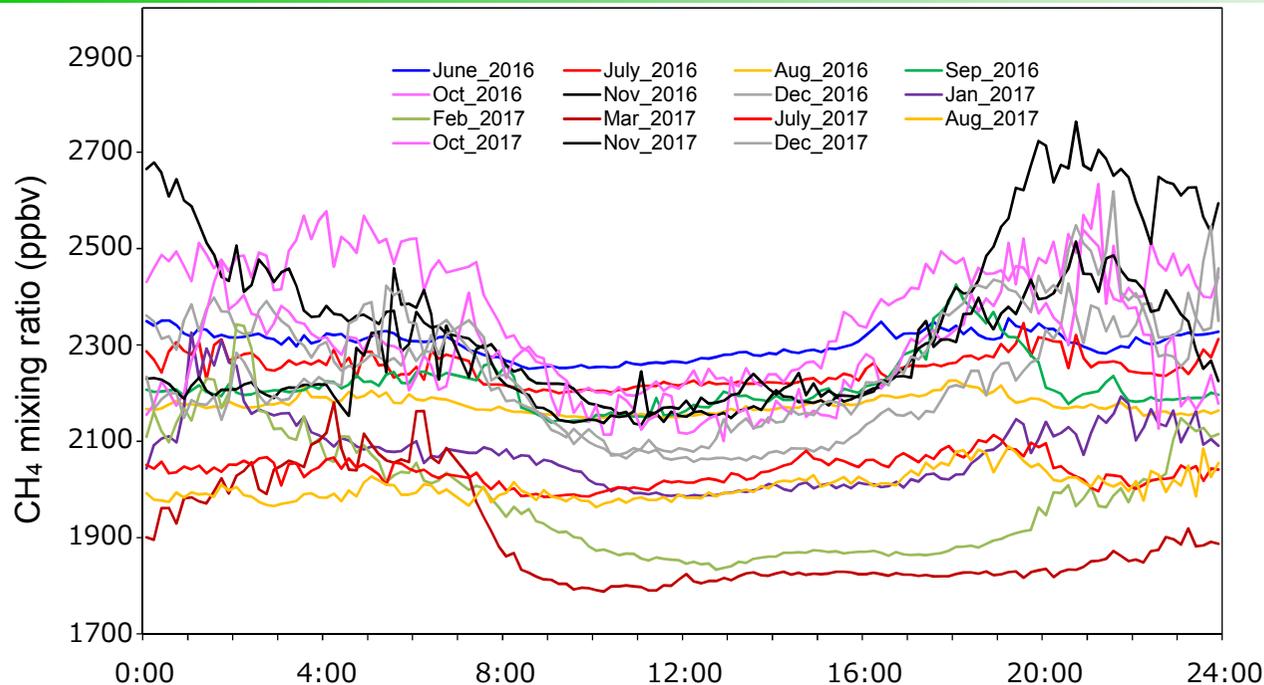
- 観測開始から約1年は欠測が多い。
- 測器トラブル、現地協力者の経験・技能不足(出張時の訓練により解消)。
- 本年2月出張時 回収データを処理中。



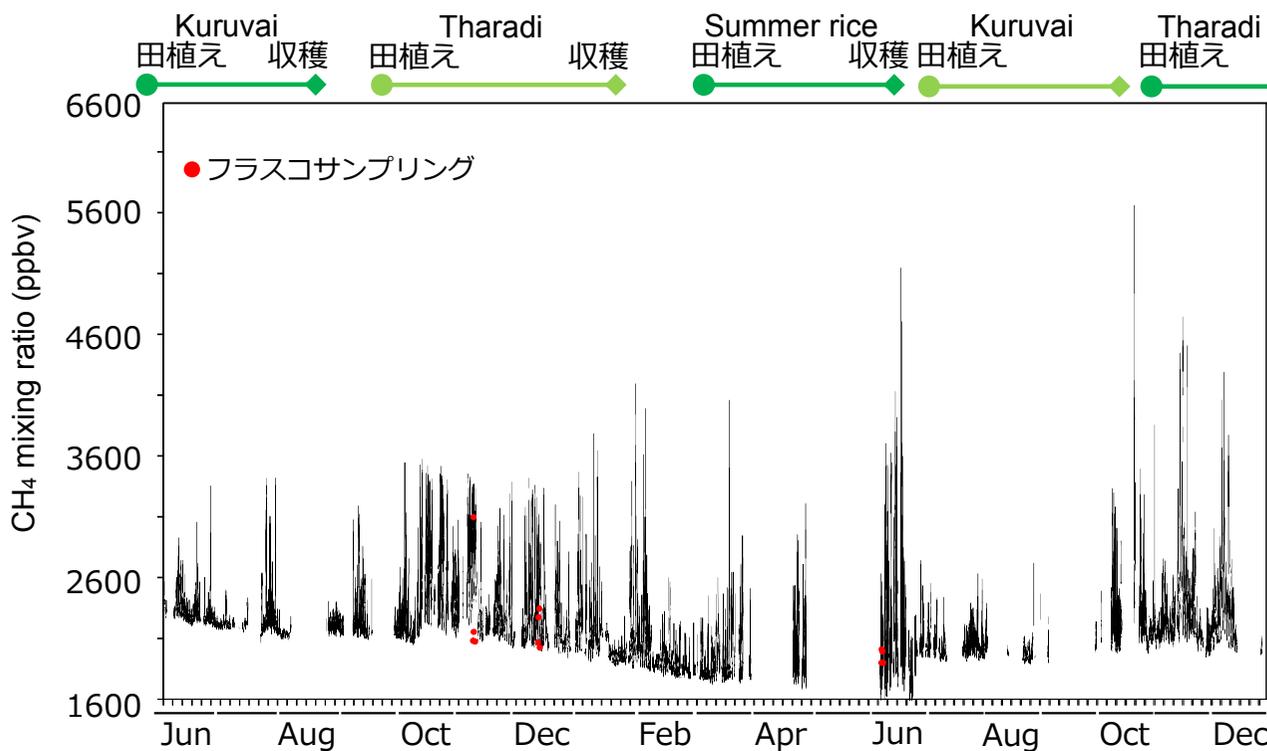


- 大気メタンの時間変化の評価
- ポイントデータとして得られるメタン濃度値の代表性の検討

# 大気メタンの日変化（2016年-2017年）季節変化（2016.6~2017.12）



- 日変化：夕方から夜間にかけて上昇、日中に低下
- 6~9月よりも10~12月の方が変動幅も大きく濃度も高い傾向



- 季節変化：2017年4月にかけて緩やかに低下し、その後上昇
- 作期の間に変動を示す傾向
- レーザー観測値はフラスコ観測値と概ね一致  
⇒ポイントデータの代表性や時間変化の検証に有効

## (1) 学術論文(査読あり)平成29年度分のみ

A.Z.Oo, S.Sudo, K.Inubushi, M.Mano, A.Yamamoto, K.Ono, T.Osawa, S.Hayashida, P.K.Patra, Y.Terao, P.Elayakumar, K.Vanitha, C.Umameswari, P.Jothimani, V.Ravi: Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol.252,148- 158 (2018) Methane and nitrous oxide emissions from conventional and modified rice cultivation systems in South India.

N.Chandra, S.Hayashida, T.Saeki and P.K.Patra: Atmos. Chem. Phys., 17, 12633-12643 (2017) What controls the seasonal cycle of columnar methane observed by GOSAT over different regions in India?

Qin Xiu-Chun, T.Nakayama, Y.Matsumi, M.Kawasaki, A.Ono, S.Hayashida, R.Imasu, Li-Ping Lei, I.Murata, T.Kuroki and M.Ohashi: J. Appl. Remote Sens. 12(1) 012002 doi: [10.1117/1.JRS.12.012002](https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.012002) (2017) Ground-based measurement of column-averaged mixing ratios of methane and carbon dioxide in the Sichuan Basin of China by a desktop optical spectrum analyzer.

A.Singh, P.Vishwakarma, T.K.Adhya, K.Inubushi and S.K.Dubey: Science of the Total Environment, 596–597: 136–146 (2017) Molecular ecological perspective of methanogenic archaeal community in rice agroecosystem.

M.Sasakawa, T.Machida, K.Ishijima, A.Ito, M.Arshinov, P.K.Patra, S.Aoki and V.Petrov: Journal of Geophysical Research. DOI:10.1002/2017JD026836 (2017) Temporal characteristics of CH<sub>4</sub> vertical profiles observed in the West Siberian Lowland over Surgut from 1993 to 2015 and Novosibirsk from 1997 to 2015.

L.M.Bruhwiller, S.Basu, P.Bergamaschi, P.Bousquet, E.Dlugokencky, S.Houweling, M.Ishizawa, H-S Kim, R.Locatelli, S.Maksyutov, S.Montzka, S.Pandey, P.K.Patra, G.Petron, M.Saunio, C.Sweeney, S.Schwietzke, P.Tans, E.C.Weatherhead: Journal of Geophysical Research. DOI:10.1002/2016JD026157 (2017) US CH<sub>4</sub> emissions from oil and gas production: Have recent large increases been detected?

S.Houweling, P.Bergamaschi, F.Chevallier, M.Heimann, T.Kaminski, M.Krol, A.M.Michalak and P.K.Patra: Atmospheric Chemistry and Physics 17 :235-256 (2017) Global inverse modeling of CH<sub>4</sub> sources and sinks: An overview of methods.

C.Wang, J.Shen, H.Tang, K.Inubushi, G.Guggenberger, Y.Li, J.Wu: Archives of Agronomy and Soil Science. DOI:10.1080/03650340.2016.1193163 (2017) Greenhouse gas emissions in response to straw incorporation, water management and their interaction in a paddy field in subtropical central China.

# 発表業績(続き)

## (1)論文(2)口頭発表の件数(\*暫定)

	平成27年度	平成28年度	平成29年度
論文*	4本	2本	8本
口頭発表*	24件	22件	13件

## (3)出願特許

- 1) 特願2016-023363、出願日:平成28年2月10日、発明の名称:3成分同時分析装置および3成分同時分析方法、発明者:須藤重人(75%)、山本昭範(25%)。
- 2) PCT/JP2017/004967、平成29年2月10日、須藤重人:農業・食品産業技術総合研究機構、山本昭範:東京学芸大学;「3成分同時分析装置および3成分同時分析方法」

## (4)「国民との科学・技術対話」の実施

平成29年11月 つくば国際会議場「AMASAプロジェクトの挑戦」

平成30年 1月 京都大学「S-12公開シンポジウム特別講演」

平成29年6月 国立環境研究所公開シンポジウムと平成29年11月第15回環境研究シンポジウムにおいて、来場者に本プロジェクト成果をパネルで説明・対話。(寺尾)

その他、地域における環境NPOや研究所見学者、出前授業・公開講座参加者を対象として多数回にわたり研究成果の説明をおこなった。

## (5)その他

平成28年12月環境省の依頼によりパリで開催されたOECD GGSDでの講演でGOSATとAMASAプロジェクト成果を紹介(林田)

# 地球温暖化抑制を目指して 「AMASA プロジェクトの挑戦」

現在、地球温暖化は確実に進行しつつあります。AMASA プロジェクトでは地球温暖化の原因物質の一つであるメタンの研究を推進してきました。公開講座では、プロジェクトの成果を元に、地球温暖化問題に取り組み私たちの活動の最前線を、中高生や一般市民のみなさんに向けてわかりやすく解説します。

## AMASA プロジェクトとは？

環境省環境研究総合推進費（低炭素領域）「GOSAT 等を用いた南アジア域におけるメタンの放出量推定の精緻化と削減手法の評価」の略称です。講演者の3機関に加え、千葉大学・東京学芸大学・JAMSTEC（海洋研究開発機構）との共同研究として推進しています。

2017年 **11月11日** (土) 14時～16時

会場 **つくば国際会議場 大会議室102**

〒305-0032 茨城県つくば市竹園 2-20-3  
<https://www.epochal.or.jp/>

講演 「地球温暖化問題の隠れた主役メタンを探る」  
～衛星 GOSAT で観るメタン分布～

講演者 奈良女子大学理学部教授 林田佐智子



講演 「大気の温室効果ガス濃度を測る」  
～南アジア編～

講演者 国立環境研究所主任研究員 寺尾有希夫



講演 「環境にやさしい農業技術」  
～水田から発生するメタンの抑制について～

講演者 農研機構・農業環境変動研究センター上級研究員 須藤重人



主催 国立大学法人 奈良女子大学 理学部 / 社会連携センター 共催 国立研究開発法人 国立環境研究所  
後援 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

公開講座にはどなたでもご参加いただけます。準備の都合上、事前申し込みにご協力ください。申し込み



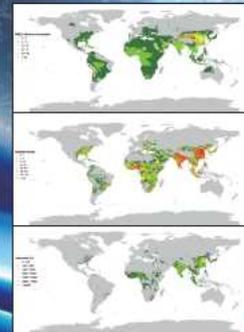
国立大学法人 奈良女子大学

〒630-8506 奈良市北魚屋東町

## 第4回 公開シンポジウム

# 地球温暖化と大気汚染による 影響の軽減に向けた新たな取り組み

## 短寿命気候汚染物質 (SLCP) の影響評価とその削減対策



本プロジェクトで用いられた大気モデルにより推定された2010年のPM2.5濃度の分布(上図)とPM2.5濃度別で観(中図)、およびPM2.5濃度別寿命年数(YLL)(下図)の分布。プロジェクトでは、SLCP排出やその削減に伴う健康への影響を評価している。

平成30年

**1/23** 火

日時: 13:30～16:30

場所: 京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール(吉田キャンパス)  
[http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/access/campus/yoshida/maper\\_j/](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/access/campus/yoshida/maper_j/)

参加費  
無料

大気汚染物質は健康・気候変動に大きな影響を与えます。S-12プロジェクトでは、大気汚染物質の中で「短寿命気候汚染物質」(SLCP: Short-Lived Climate Pollutants)に注目しています。SLCPには、PM2.5の一部である煤(黒色炭素)、光化学オキシダントの主成分である対流層オゾン、その対流層オゾンの生成に寄与するメタンなどの、気候に与える影響が大きなものが含まれています。またSLCPが大気中に滞留する期間は、二酸化炭素などの長寿命温室効果ガスに比べて短くなっています。そのため、SLCPを削減することで、環境改善だけでなく、地球温暖化を抑制する効果もあり、国際的な取り組みも行われています。S-12プロジェクトでは前年公開シンポジウムを開催しており、第4回となる今回は日本で初めて開催します。これまでの研究成果をもとに、より具体的なSLCP排出シナリオの検討結果を始め、過去から将来にかけての排出推定やSLCP削減による地域・地球規模での健康・気候影響評価についての最新の成果を公表し、今後の課題を議論します。

### 参加申し込み

お名前(ふりがな)、ご所属を明記の上、メールにてお申し込みください。

### 申し込み期限

平成30年1月9日(火)

申し込み先-問い合わせ先 E-mail

[s-12\\_staff@athesto.env.kyoto-u.ac.jp](mailto:s-12_staff@athesto.env.kyoto-u.ac.jp)

### Program

13:30-13:40	ごあいさつ 講演者 林田 幸 (奈良女子大学)
13:40-14:00	[S-12]によるSLCPの排出シナリオと気候・環境影響の研究 林田 幸 (国立環境研究所)
14:00-14:20	<b>特別講演「南アジアから放出されるメタンの挙動研究 ～2-1502 AMASAプロジェクトの成果から～」</b> 林田 佐智子 (奈良女子大学)
14:20-14:40	[アジアにおける]広域大気汚染: 現状とその影響 北島 秀樹 (国立環境研究所)
14:40-15:00	[SLCPシナリオの構築と排出削減策による共益効果・相殺効果] 林田 幸 (国立環境研究所)
15:00-15:15	〈休憩〉
15:15-15:30	[アジア地域の家庭部門からの大気汚染物質の排出量とその影響] 藤田 孝 (京都大学)
15:30-15:45	[SLCPによる健康への影響] 上野 佳代 (京都大学)
15:45-16:00	[SLCPの気候影響] 中田 真木子 (京都大学)
16:00-16:15	[SLCPと地球の水循環] 芳村 圭 (東京大学)
16:15-16:30	総合討論・閉会 中島 成史 (S-12代表、宇宙航空研究開発機構) [閉会: 農研機構リモートセンシング技術センター]

## 特別講演「南アジアから放出されるメタンの挙動研究 ～2-1502 AMASAプロジェクトの成果から～」

林田 佐智子 (奈良女子大学)

# 環境政策への貢献

## 1. 観測の空白地帯であった南アジアにおけるメタン観測の実施

### 1-1. 北インドのソーニーパットにおける大気メタン観測

### 1-2. 南インドにおける水田からのメタン発生量測定と緩和方策の集中実験

○最新の知見によれば、人間活動による生物圏からの温室効果気体発生は正味の温暖化に貢献すると評価されている。特に南アジアからのメタン発生量はその重要性にも関わらず情報は極めて少ない。本研究で実施中のインド・バングラデシュにおけるメタン観測は極めて貴重なメタン濃度データを提供しており、我が国が世界に先駆けて新たな科学的地平を拓くデータとして注目されるだろう。また、本研究ではそれら観測データをインバース解析に活用し、メタン発生量推定の検証まで行うことができた。

## 2. GOSATのデータ利用の有効な活用方法を解明した

○GOSAT/SWIRの気柱量( $XCH_4$ )観測のもつ問題点を定量的に解明し、領域規模でのインバース解析のために必要な方策について検討を行った。特にモンスーン循環によりメタンが上空で高濃度になるプロセスを解明し、 $XCH_4$ の変動の多くは中・上部対流圏からの寄与であることを解明した。今後メタン推定の精緻化に向け、上層の大気輸送を改良するモデルをインバース解析に活用する準備を進めており、この成果を新規課題に繋ぐ準備ができた。

## 3. 南アジアにおける水田からのメタン発生量削減方策への提言

○南インドのタミルナドゥ州における稲作からのメタン放出量緩和策実証実験において、適切な耕法と水管理によって24-48%削減が可能であることを示した。この手法を南インド全域に適用することをGISを使ってIPCC推奨方法に基づき試算し、南インドにおける緩和ポテンシャルを作成した。この成果はFarmers' Forumに"Economical and Environment Friendly"として特集記事として掲載され、国際的注目を浴びている。

> Organic Growth: Tracking the Seed Saver > Pesticides: Pesticides Matter; But Farmers?

# FARMERS' FORUM

Vol. 17: No. 06; Dec 2017-Jan 2018 ₹100 www.farmersforum.in Issues and Ideas for Indian Agriculture

インドの農業雑誌で大きく取り上げられました

RESEARCH



**AUNG ZAW OO**  
Institute for Agro-Environmental Science, National Agriculture and Food Research Organization, Tsukuba, Japan



**SHIGETO SUDO**  
Institute for Agro-Environmental Science, National Agriculture and Food Research Organization, Tsukuba, Japan



**PRABIR K. PATRA**  
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama, Japan



**V. RAVI**  
Tamil Nadu Rice Research Institute, Aduthurai, Tamil Nadu

SUSTAINABLE FARMING UNDER CLIMATE CHANGE

## SRI Both Economical and Environment Friendly

Aung Zaw Oo, Shigeto Sudo, Prabir K. Patra and V. Ravi

AUNG ZAW OO | SHIGETO SUDO | PRABIR K. PATRA | V. RAVI | PARESH MINOCHA

AGRICULTURE AND FOOD RESEARCH ORGANIZATION