

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05267

研究課題名(和文)メコンデルタにおける耕畜エネルギー複合システムの構築と評価

研究課題名(英文)Construction and evaluation of paddy-cattle-biogas integrated system in Mekong Delta

研究代表者

川島 知之 (Kawashima, Tomoyuki)

宮崎大学・農学部・教授

研究者番号：10355068

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：世界有数の稲作地帯であるメコンデルタでは、今後肉牛生産が急速に伸びることが想定される。水田、肉牛生産、バイオガスそれぞれに関する温室効果ガスの緩和策を融合させることで、生産される食料あたりの温室効果ガス発生量を最小化しつつ、食料の増産と生計向上を達成しうるシステムを構築する。そして、包括的な環境影響評価によりその有効性を実証することを目的として本プロジェクトを実施した。複合システムは専業システムと比較してGHG排出量が25%低いことが示された。これは主として複合システムの水稲生産におけるGHG低減が寄与していた。

研究成果の概要(英文)：Beef production is expected to be rapidly increased in Mekong Delta, where is one of the world's largest rice producing area. The purpose of this study is to establish an integrated system to maximize food production and livelihood and to minimize greenhouse gas(GHG) emissions on the basis of food produced by the integrations of mitigation measures regarding paddy, beef production and biogas, and to demonstrate the effectiveness of the system by a comprehensive environmental impact assessment. GHG emissions in the integrated system was 25% lower than the total of specialized systems. It was mainly due to a reduction of GHG emission from paddy production in the integrated system.

研究分野：家畜栄養

キーワード：温室効果ガス ウシ 水田 バイオガス

### 1. 研究開始当初の背景

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の報告書によると、ベトナム・メコンデルタは気候変動に対して世界中で最も脆弱な地域の一つであると言われている。洪水規模・期間の拡大、塩水遡上範囲の拡大等が報告されており、住民の生活に影響を及ぼしている。<水田に関して> 同地域は、日本の九州とほぼ同じ面積に過ぎないが、恵まれた地形、気候条件を背景に、ベトナム全体のコメ生産量の 5 割ほどを生産している。2012-13 年、2 年を通じて、同地域では日本全体の生産量の 3 倍にあたる 2500 万トンものコメが生産された。ただし、水田は農業分野における温室効果ガスの主要な排出源である。応募者らはメコンデルタにおいて水田からのメタンや亜酸化窒素の排出量をモニタリングする研究体制を確立し、節水栽培による温室効果ガス排出削減に関する試験を実施しており、これまでに 50% 程度のメタン発生抑制が可能であることを報告している (新井ら、土壤肥料学会 2012 年大会)。一方膨大な稲わらが産出されているにも関わらず、そのほとんどが焼却や鋤きこみされ、有効には活用されていない (Van 等、熱農誌 2014)。

<肉牛に関して> ベトナムにおいては畜産物の需要が急速に伸びており、ベトナム中部には世界最大級の企業酪農 (搾乳牛 13000 頭) が 4 年前に開設されたことは大きなニュースとなっている。地域への影響も大きく、稲わらが 1kg10 円近くで流通するようもなってきた。また、隣国のタイではベトナムへの肉牛輸出急増により肉牛価格の高騰が生じており、地域の肉牛生産の安定化には、自国での生産拡大が必須である。メコンデルタにおける肉牛の飼養頭数は全国の 11% 程度に過ぎず、膨大な稲わらが産出されているが飼料としての利用は少なく、米ぬか等の副産物も豊富にあることから、近い将来肉牛生産拠点になることが予想される。ただし、反芻家畜は水田とならぶ農業分野における温室効果ガスの主要な排出源である。応募者らは同地域に牛からのメタン排出量をモニタリングするための装置を設置し、天然由来飼料添加物の効果等に関する試験を実施している。

<バイオガスに関して> メコンデルタには、園芸 (果樹・野菜)、養魚、養豚を組み合わせた、合理的に栄養分を循環させる営農形態がある。豚のふん尿からバイオガスを発生させる装置をこのシステムに組み入れることで、河川の水質汚染を低減しつつ、発生したガスは農家が調理用に使い、薪や LP ガスの利用を削減できる。応募者らは、このことにより温室効果ガスを削減させる CDM プロジェクトを形成し、国連 CDM 理事会に事業登録を行った (Project 6132、UNFCCC、2012)。

<緩和策の融合> 水田、肉牛生産、バイオ

ガスに関する緩和策を融合させることで、メコンデルタにおいて低炭素社会の構築と食糧増産・生計向上を両立させるシステムを構築する。そして環境影響評価を包括的に実施することでその有効性を実証する。それにより人口増加と経済発展が著しく、単に食糧増産の必要性だけではなく、畜産物の消費が飛躍的に伸びている東南アジア諸国の現状にマッチした環境保全型農業のモデルを提示する。

### 2. 研究の目的

水田で産出される稲わらをそのまま水田に鋤き混むと温室効果ガスの発生源となる。稲わらを補助飼料なしで牛に給与すると、増体せずに消化の過程で多くメタンが発生する。しかし、適正な補助飼料を給与すると、生産される牛肉あたりのメタン発生量を削減でき、農家にとってみると収入増を達成できる。また、牛の糞尿からバイオガスを生成させ台所等で活用することで、農家は生計の向上に活用できる。バイオガス発生装置から排出される消化液中には有機物が少ないが、それ以外の栄養分は残っており、肥培効果は十分である。それを水田に施用することで、収量を維持しつつメタン発生量を削減できる可能性がある。現地で利用されているプラスチック製バイオガス発生装置においては過剰にバイオガスが生成した際、装置が破裂するのを避けるため、安全弁からバイオガスが逃げないようにしてあり、また、消化液の排出口等からのバイオガスの漏れの可能性もあり、改善の余地も大きい。それぞれのコンポーネントでの緩和技術を開発し、システム全体を LCA により解析することで、生産される食料あたりの温室効果ガスの削減効果を示し、生計向上という観点からもその有効性を実証する。

### 3. 研究の方法

水田については、バイオガス発生装置からの消化液の適正な施用方法の開発を行い、施用に応じた収量ならびに温室効果ガスの発生量を測定する。肉牛については稲わらのサイレージ化を中心とした通年給与技術と米ぬか等補助飼料の適正な給与技術を開発し、メタンの発生量を測定する。バイオガスについてはメタンガスの漏れを最小化する装置の改良ならびにメタンガスの有効利用技術を開発する。それぞれのコンポーネントを融合させたシステムの環境影響評価を LCA により実施し、その有効性を実証し、畜産物の消費が飛躍的に伸びている東南アジア諸国の現状にマッチした環境保全型農業のモデルを提示する。

### 4. 研究成果

<水田に関して> ベトナム・メコンデルタの典型的な牛飼養農家の使用するバイオガス

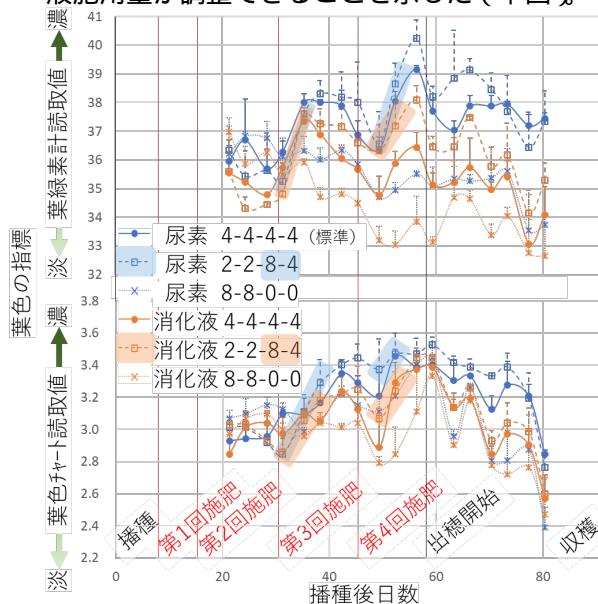
発生装置から排出される消化液が化肥尿素に代わる窒素肥料として水稻作に利用可能であることを示した。現地水田土壌を充填したポットに化成尿素に代えて消化液を用いて水稻を栽培したところ、化成尿素と比較して遜色のない籾収量が得られた（下表）。

表．1 作・1ヘクタール当たり 140 kg の全窒素を均等 4 分施した際の籾収量 (t ha<sup>-1</sup>)

肥料種	土壌種		
	土壌 1	土壌 2	土壌 3
尿素	7.6±0.2	10.7±1.0	7.1±0.8
消化液	8.5±0.5	10.1±0.7	8.3±1.2

（注）平均値±標準偏差（n=3）。施用消化液の全窒素中には 30%のアンモニア態窒素が含まれていた。3種の土壌ともにカントー市内の典型的な 1 農家水田から採取されたものであり、採取前の 5 年間、それぞれ以下の稲わら処理がなされたものである。土壌 1：収穫稲わら全量を圃場還元；土壌 2：収穫稲わらの焼却灰全量を圃場還元；土壌 3：収穫稲わら全量を圃場より持ち出し。

また、現場の小規模畜産農家においては、消化液に含まれる肥効分（特に窒素が重要）を事前に知ることが困難である。この環境で消化液を農家が使用するためには、適正な消化液施用量を判断するための何らかの指標が必要となる。我々は生育中の水稻の葉色を判断指標とする消化液施用方法を検討し、葉色指標が消化液施用時においても化成尿素施用時と同様に、施肥の必要となるタイミングで低下し、約 1 週間以内のタイムラグをもって上昇することなどを確認し、現地農家が容易に利用可能な葉色チャートを利用して消化液施用量が調整できることを示した（下図）。

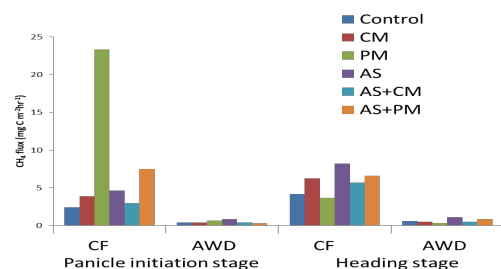


図．様々な窒素施肥条件下（ただし窒素施肥量はすべての処理において 160 kg 全窒素 ha<sup>-1</sup>）における葉緑素計及び葉色チャートの読取値。バーは標準偏差。各処理名は、肥料

種と 4 分施した各施肥時の施用量を示している（例えば「尿素 4-4-4-4」の処理では、化成尿素を 4 回の分施で各 40 kg 全窒素 ha<sup>-1</sup> 施用）。例えば、それぞれ青及び橙でハイライトした「尿素 2-2-8-4」及び「消化液 2-2-8-4」は、各分施における全窒素施用量は同じであるが肥料種のみ異なる。肥料種は異なるが、両者ともに生育初期の窒素施用量が標準と比較して低く抑えられているため生育初期に葉色が淡くなる傾向が確認でき、第 3 回、第 4 回の施肥の葉色への反応が強く、両者で同様の反応を示すことがわかる。

消化液の水田面への均等施用のためには、その施用前に田面水を落とすことが定石となっており、これは我々が既に 50%の温室効果ガス排出削減を認めた節水栽培時の水管理と同様である。このように消化液施用と節水栽培との親和性は高く、両者を組み合わせることで、消化液を使用しつつ収量を損なわず、温室効果ガス排出削減を同地を実現するための基本的な成果が得られた。

牛ふん(CM)、豚ふん(PM)、化学肥料（硫安 AS）およびその組み合わせがメタン発生量に及ぼす影響を確認するポット試験を異なる水管理（常時湛水 CF、節水栽培 AWD）条件で実施し、幼穂形成時には豚ふんでメタン発生量が大きかったが、出穂期には牛ふんや化学肥料区で大きくなった。またどの肥料の場合も水管理の影響が大きかった（下図）。



< 肉牛に関して >

(1) 稲ワラの保存法確立

雨期に排出される稲ワラの長期保存性と発酵品質を高めるための技術の開発を目的として、

1. 発酵基質の添加が発酵品質へ及ぼす影響
  2. 細断の有無が発酵品質へ及ぼす影響
- についての知見を得るため、数種類の稲ワラサイレージを調製し、その発酵品質および飼料特性を検討した。

稲ワラサイレージの乳酸生成量および酪酸生成量は、細断の有無と発酵基質添加、貯蔵日数と発酵基質添加の 2 つの交互作用に有意な差がみられた。乳酸生成量に差がみられたということは、稲ワラを細断してビール粕を添加すること、またビール粕を添加して貯蔵期間を長くすることにより良質なサイレージ発酵に必要な乳酸発酵が促進されたこと

を示している。発酵品質を化学的に評価するVスコアは細断の有無、ビール粕添加あるいは日数によらずどのサイレージも概ね高く、細断することにより上昇し、生ビール粕を添加することにより更に上昇した。

以上のことから、ベトナムにおいて稲ワラサイレージを調製する際には、細断することにより乾物詰め込み密度を高め、更に発酵基質を添加することによって、より高品質で長期保存可能なサイレージ調製が可能であることが示唆された。

#### (2)牛への給与試験

T1:エレファントグラス+イナワラ(サイレージ化せず) T2:T1+糖蜜でサイレージ化、 T3:T1+ビール粕でサイレージ化、 T4:T1のサイレージ化ものについて雄牛4頭を用いた4×4のラテン方格に割り付けメタン発生量、栄養成分の消化率、窒素出納、第一胃性状を調査した。サイレージ化によって牛からのメタン生成が抑制されることが明らかになり、サイレージは飼料の長期間の確保の他にメタン発生抑制においても有効であることが示された。

表イナワラ、エレファントグラス原料草、サイレージ給与時のメタン生成量

	メタン発生量	
	L/day	L/day/kg
T1	95.0	0.55
T2	88.7	0.50
T3	87.1	0.51
T4	83.9	0.50

T1:エレファントグラス+イナワラ(サイレージ化せず)

T2:T1+糖蜜でサイレージ化

T3:T1+ビール粕でサイレージ化

T4:T1のサイレージ化もの

#### < バイオガスに関して >

##### (1) 基礎的なデータの取得

3戸の肉牛農家を対象に約半年間に亘りモニタリング(給餌量、排せつ物量・成分、バイオガス発生量・成分、消化液の量・成分等)を実施し、原料となる排せつ物の供給量、バイオガスの発生量、バイオガスの使用量およびバイオガスの大気中への漏出量等の関係をモデル化するための基礎的なデータ(糞の乾物当たり単位バイオガス発生量等)を取得した。

##### (2) バイオガス発生装置の改良

バイオガスの燃焼効率を改善するため、空気とバイオガスの最適な混合比を検証する試験を実施した。試験は、バイオガスをそのまま燃焼させた場合と、メタン(CH<sub>4</sub>)濃度6~10%の混合ガスを燃焼させた場合で行い、2Lの水(28℃)を95℃まで加熱するのに要するCH<sub>4</sub>の消費量と時間を比較した。その結果、バイオガスをそのまま燃焼させた場合のCH<sub>4</sub>消費量が一番多く、混合ガスの場合はCH<sub>4</sub>濃度6%の場合が最も少なく、濃度が上

がるにつれてCH<sub>4</sub>消費量も増加する傾向にあった。水の温度が95℃に達するまでに要する時間に関しては、CH<sub>4</sub>濃度6%の混合ガスの方がバイオガスをそのまま燃焼させた場合よりも長くなり、CH<sub>4</sub>濃度が上がるにつれて時間は短くなる傾向にあった。試験結果から、CH<sub>4</sub>濃度8~9%の混合ガスがCH<sub>4</sub>の消費量、熱量の観点から最適な濃度であると考えられた。

また、バイオガスと空気の混合を行うため、小型ポンプにより空気を加圧・注入し、混合部の空気の供給パイプをオリフィス構造とすることで、ベンチュリ効果によりバイオガスと空気を混合させる構造のコンロを試作し、燃焼効率を検証するための試験を実施した。

##### (3) バイオガスの他用途利用

余剰バイオガスが大気中へ放出されるのを防ぐため、余剰バイオガスの有効利用を目的にバイオガスによる発電の可能性について検討した。農家が所有している発動機(ディーゼルエンジン)、発電機(ガソリンエンジン)を用い、バイオガスを燃料として発電できる構造に改造することで、農家用の小規模なプラスチック製バイオガス発生装置システムにおいてもバイオガス発電が可能であることが確認された。

バイオガスには少量の硫化水素(H<sub>2</sub>S)が含まれており、バイオガスを発電に利用する場合は、H<sub>2</sub>Sによる装置の腐食を避けるため、脱硫装置が必要となる。そのためPVCパイプの中に工場から発生する屑鉄を酸化させた状態で入れた簡易な脱硫装置を試作し、その脱硫効果を検証した。その結果、簡易脱硫装置の効果と使用上の課題が明らかになった。

#### < LCA に関して >

メコンデルタ地域の肉牛および水稻農家調査を実施し、水稻および肉牛LCAモデル構築に必要なデータの収集を行った。得られたデータを基に、水稻および肉牛LCAモデルを構築した。構築したモデルを用いて水稻および肉牛専門システムのLCAを行い、それぞれの温室効果ガス(GHG)排出量を明らかにした。また、専門システムのLCAモデルに耕畜エネルギー複合システムのための各種技術の効果を追加して複合システムLCAモデルを構築し、複合システムのGHG削減効果を明らかにした。複合システムは専門システムと比較してGHG排出量が25%低く(157 vs 209 tCO<sub>2</sub>e/FU)、主として複合システムの水稲生産におけるGHG低減が寄与していた。これは今回、稲わらの量から水田面積あたりで飼養できる肉牛頭数を求めて機能単位としたところ、肉牛生産頭数に比べてコメの生産量の方がかなり多いためと考えられた。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Ornvimol Keaokliang, Tomoyuki Kawashima, Wanna Angthong, Tomoyuki Suzuki and Ramphrai Narmseelee. Chemical composition and nutritive values of cassava pulp for cattle. Animal Science Journal 査読有 in press.

Tomoyuki SUZUKI, Kritapon SOMMART, Wanna ANGTHONG, Thu Van NGUYEN, Anan CHAOKAUR, Peerapot NITIPOT, Arun PHROMLOUNGSRI, Yimin CAI, Takashi SAKAI, Takehiro NISHIDA, Fuminori TERADA, Tomoyuki KAWASHIMA, Prediction of enteric methane emission from beef cattle in Southeast Asia, Animal Science Journal 査読有 in press.

鈴木知之、日本および東南アジアの畜産からの温室効果ガス排出、ルーメン研究会報、査読無、Vol. 29、2018、1-7

鈴木知之、寺田文典、川島知之、日本および東南アジアにおけるウシからの消化管発酵由来メタン排出抑制の可能性、家畜栄養生理研究会報、査読有、Vol. 61、2017、21-31

宝川靖和。ベトナムメコンデルタにおける温室効果ガス排出削減技術と今後の展開。JATAFF ジャーナル 5(2): 5-9 査読無 2017.

Taro Izumi, Eiji Matsubara, Duong T. Dung, Nguyen V. C. Ngan, Nguyen H. Chiem, Yoshiro Higano, Reduction of Greenhouse Gas Emissions in Vietnam through Introduction of a Proper Technical Support System for Domestic Biogas Digesters, Journal of Sustainable Development、査読有、Vol.9、No.3、2016、pp.224-235、DOI: 10.5539/jsd.v9n3p224

[学会発表](計8件)

Kazuyuki Inubushi and Hironori Arai: Sustainable water use for agriculture and environment. Can Tho University Journal of Science, International Symposium 2017, Phnom Penh, Cambodia 2017.

Ornvimol Keaokliang,Tomoyuki Kawashima, Wanna Angthong, Tomoyuki Suzuki and Ramphrai Narmseelee. Metabolizable energy of cassava pulp for Thai native beef cattle. The 2<sup>nd</sup> Internatinal Conference on Animal Nutrition and Environment. Khon Kaen, Thailand.2017

Yasukazu Hosen. Greenhouse gas mitigation in the rice-based Mekong Delta agricultural system. JIRCAS-NARO International Symposium. Tsukuba 2017.

鈴木知之、Sommart, Kritapon., 酒井貴志、安藤貞、寺田文典、川島知之 飼料中の繊維含量がタイ在来種交雑牛の消化管発酵由来メタン発生量に及ぼす影響、日本畜産学会第122回大会、神戸市、2017

Yasukazu Hosen. Climate-smart and locally beneficial agriculture in the Mekong Delta. First Global Sustainable Rice Conference and Exhibition 2017.

Bangkok, Thailand. 2017.

Tomoyuki Suzuki, Greenhouse gas emission from the livestock sector in Asia, The 6th CADIC International Symposium Livestock Revolution in Asia - Risk and opportunity -, Fukuoka, 2016

泉太郎、チャン・シー・ナム、農家レベルでのバイオガス燃焼効率の改善に向けた取り組み、平成28年度農業農村工学会大会講演会、2016

Yasukazu Hosen. To establish an agricultural system which harmonizes human life with the environment through smart use of rural resources in a regional environment. JIRCAS International Symposium 2015. Tokyo 2015.

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

Yasukazu Hosen. What we found & where we're going to. Farmer Workshop - Application of a Water-saving Technology for Mitigating GHG Emissions -. Can Tho, Vietnam 2017

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川島 知之 (Tomoyuki Kawashima)

宮崎大学・農学部・教授

研究者番号: 10355068

### (2) 研究分担者

犬伏 和之 (Kazuyuki Inubushi)

千葉大学・園芸学部・教授

研究者番号: 00168428

宝川 靖和 (Hosen Yasukazu)

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・生産環境・畜産・主任研究員

研究者番号: 90353549

泉 太郎 (Izumi Taro)

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・企画連携部・研究企画科長

研究者番号: 10725360

鈴木 知之 (Tomoyuki Suzuki)

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・生産環境・畜産・主任研究員

研究者番号: 70391175

荻野 暁史 (Akifumi Ogino)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・主任研究員

研究者番号: 70355098

安藤 貞 (Sada Ando)

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・生産環境・畜産・主任研究員

研究者番号: 40502943