

平成 22 年 5 月 18 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19405024

研究課題名（和文）ベトナムの水田における窒素動態解明

研究課題名（英文）Clarification of nitrogen dynamics in paddy fields in Vietnam

研究代表者 渡辺 武 (Watanabe Takeshi)

独立行政法人国際農林水産業研究センター・生産環境領域・主任研究員

研究者番号：40425525

研究成果の概要（和文）：ベトナム国内 3 か所にて水田からのアンモニア揮散を合計 7 作季分定量した。水稻栽培期間中に揮散したアンモニアは窒素として平均 10.3 kg ha^{-1} であり、窒素施肥量に対して 11.4% に相当した。ベトナム北部（2 か所）にて施肥窒素の動態を調べたところ、施肥した窒素（平均 94 kg ha^{-1} ）に対して収穫時に水稻と土壌（表層 0-25 cm）中に残っていた窒素に揮散したアンモニア量を加えた合計量との差は平均 34.5 kg ha^{-1} であり、主として脱窒と溶脱により水田から失われていたと考えられた。

研究成果の概要（英文）：The nitrogen (N) losses from paddy field by ammonia volatilization were measured in 3 sites. The losses were 10.3 kg ha^{-1} in average and equivalent to 11.4% of applied N fertilizer. Destinations of the applied N fertilizer were monitored at 2 sites in northern Vietnam. The gap between applied N fertilizer (94 kg ha^{-1} in average) and sum of N recovered in rice plant and soil (0-25 cm) and volatilized ammonia was 34.5 kg ha^{-1} . It seemed that most of the gap was caused by N losses by denitrification and leaching.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2007年度 | 2,000,000 | 600,000 | 2,600,000 |
| 2008年度 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |
| 2009年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 4,500,000 | 1,350,000 | 5,850,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：植物栄養学、土壌学

キーワード：環境調和型農林水産、土壌学、環境

1. 研究開始当初の背景

中国および東南アジアにおいては、農業の集約化、家畜飼養頭数の増大により農業生態系への窒素投入量が増大している。これに伴い生産物として農地から除去されない余剰窒素も増大し、硝酸態窒素による河川・湖沼の水および地下水の汚染、亜酸化窒素など含

窒素ガス放出による温室効果の促進、オゾン層の破壊などが懸念される。東南アジアにおいては農業生態系における窒素循環に関するデータが少なく、特にベトナムにおいてはほとんどデータがない。農地からのアンモニア揮散、亜酸化窒素放出の測定例は皆無である。本研究は、これらの測定をベトナムの代

表的な農業地帯である紅河デルタとメコンデルタで調査することが特色で、得られたデータは農業統計とを併せて地域、省、デルタ全体の窒素収支を推定するためのパラメーターとなり、東アジア、東南アジアにおける N_2O 放出量のインベントリーのためのデータとしても利用されることが期待される。ベトナムは東南アジア有数の農業大国であり、窒素肥料の消費量の増加が続いている。特に紅河デルタとメコンデルタは2大穀倉地帯であり、近年の農業の集約化、生産の多様化に伴い農業生態系における窒素フローは大きく変動していると思われる。この地域では土地全体に対する農地の割合が90%近い場所も多く、農地における窒素循環の乱れは環境に大きな影響を与える。紅河デルタでは土壤肥沃度が低く有機物の農地還元が盛んに行われているのに対して、メコンデルタでは土壤肥沃度が高く有機物の農地還元はほとんど行われていないなど、農業副産物の利用・処理に伴う窒素フローは大きく異なり、農場あるいは農地における窒素フローがどのように異なるのか大変興味深い。東南アジアの農業生態系における窒素循環を評価する上で、ベトナムのデータを得ることは重要である。

2. 研究の目的

本研究は東アジアの農業生態系における窒素循環を測定し、余剰窒素による環境負荷を抑制する技術を開発することを構想し、ベトナムにおける農地の窒素循環について調査する。ベトナム北部紅河デルタとベトナム南部メコンデルタに試験圃場を設けて、水田からのアンモニア揮散について測定し、肥料・有機物、灌漑水に由来する窒素投入、収穫物に伴う窒素の持ち出し、非収穫物の処理に伴う窒素の持ち出しなどのデータと併せて圃場（水田と畑地）における窒素収支を測定する。ただし、生物的窒素固定量については直接測定せず、文献値などで推定し、それを含めた収支から農地からの窒素（主として硝酸態窒素）の溶脱を推定する。さらに農家調査および地方行政機関の地域統計データの調査を行い、肥料、飼料等資材の購入、農産物の出荷、副産物の処理に関するデータから農場及び地域における窒素の収支を調べる。

3. 研究の方法

(1) 水田からのアンモニア揮散の定量

①ベトナム国内に3か所の試験サイト（紅河デルタ周辺の古段丘面（バクジャン省、北緯21度21分、統計106度2分）、紅河デルタ（ハノイ市、北緯21度7分、統計105度31分）、メコンデルタ（カントー市、北緯10度8分、統計105度35分））を設けた。バクジャン省

では2007年夏作と2008年春作、ハノイ市では2008年夏作、2009年春作、2009年夏作、カントー市では2007年乾季作と2008年雨季作にそれぞれ水稻を栽培した。ハノイにおける2009年夏作時以外は、各地域の農家慣行にしたがった肥培管理を行い、窒素施肥は3回分施された（窒素施肥量は1作当たり80~100 kg ha⁻¹）。2009年夏作時には窒素施肥量を農家慣行よりやや少ない70 kg ha⁻¹施肥する水田とこれの2倍に当たる140 kg ha⁻¹施肥する水田を設けた。

窒素施肥から1、3、5、9日後の午前と午後にダイナミックチャンバー法にて田面水から揮散するアンモニアを捕集、定量し。水稻栽培期間中に田面から放出されるアンモニア量の推定を行った。上記の方法でアンモニアの捕集を行う際に、田面水温度、pHを測定し、さらに田面水を採取してアンモニア態窒素濃度の定量も行った。

②メコンデルタにあるカントー大学内のライシメーターにて、慣行の水管理（水稻栽培期間中、水田を常に湛水状態に保つ、但し、収穫前の2週間は灌漑を停止する）と間断灌漑（AWD；播種後1週間は湛水状態を保ち、その後は水田の水位が地下10 cmに低下した時に湛水深5 cmまで灌漑を行う。但し、収穫前の2週間は灌漑を停止する）の2つの処理を2反復で用意し、①の方法に準じてアンモニア揮散を測定した。

(2) 水田の窒素収支の定量

上記3か所の試験サイトのうち、バクジャン省とハノイ市の2か所で、アンモニア揮散を測定した水田内に40 cm×40 cm×25 cmの鉄製枠を15 cm 土壌中に挿入したマイクロプロット（枠内に水稻が6株）を各3か所設置した。このマイクロプロット内に窒素安定同位体¹⁵Nで標識した肥料を枠外と同じ時に同じ割合で施肥した。水稻収穫時にマイクロプロット内外の植物体、深さ別の土壌（0-5 cm、5-15 cm、15-25 cm）を採取し、重さと窒素濃度および¹⁵N/¹⁴Nを定量し、それぞれに含まれる窒素量とそのうち施肥された窒素に由来する窒素量を定量した。

さらに各サイトの灌漑水を定期的に採取し灌漑水として水田に供給される窒素量を推定した。

4. 研究成果

(1)

①アンモニア揮散フラックスは、尿素施肥1または3日後にピークに達した後、急速に低下して多くの場合施肥後9日以内に1 mg N m⁻² h⁻¹以下になった。例として図1に2008年ハノイ市夏作時の窒素施肥後のアンモニアフラックスの経日変化を示す。アンモニアフラックスの日変化は、田面水中のアンモニア

態窒素濃度の変化に応答していた（図2）。施肥日を含めた10日間のアンモニア揮散による窒素損失を推定したところ、施肥された尿素（平均94 kg ha⁻¹）に対して、1作全体では平均11.4%（1.7-19.1%の範囲）であった。このうち極端に小さい窒素損失（1.7%）がカントー市2007年雨季作で観察されたが、測定期間中の田面水pHが他よりも低いことが主要な原因であったと考えられた（表1）。それ以外の測定では5.0%以上がアンモニア揮散により失われていた。このことは、ベトナム水田ではアンモニア揮散が無視できない窒素損失経路であることを示している（表1）。

熱帯水田からのアンモニア揮散に関する既存の研究（フィリピンにて）に比べ揮散率が小さかったが、理由としては今回の方が1回あたりの窒素施肥量が小さかったことが考えられる。東南アジア各国の水田においては施肥効率の向上のため窒素の分施が進んでおり、今後確認が必要ではあるが分施により熱帯水田におけるアンモニア揮散による窒素損失は低減できる可能性がある。

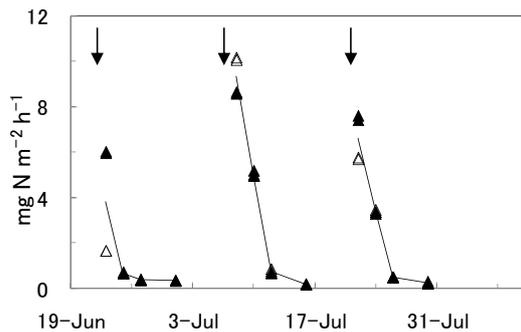


図1：アンモニアフラックスの経日変化（ハノイ市2008夏作）図中の矢印は尿素施肥を行った日を示す。▲は午前（9:00-11:00）、△は午後（14:00-16:00）のフラックス

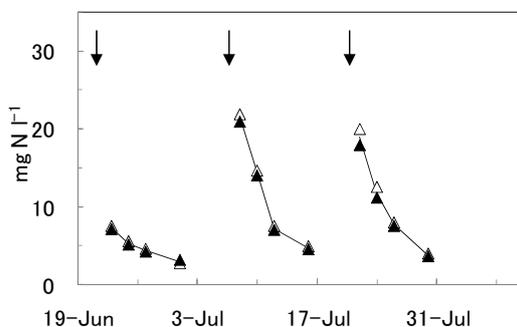


図2：田面水中のアンモニア態窒素濃度（ハノイ市2008夏作）図中の矢印は尿素施肥を行った日を示す。▲は午前（9:00-11:00）、△は午後（14:00-16:00）の濃度

表1：窒素施肥後10日間の水田からのアンモニア揮散量と施用した窒素（尿素）に対する比率、田面水pHおよび田面水温度

| 試験サイト 作季 (反復数) 測定年 | バクジャン (夏作) (n=2) 2007 | バクジャン (春作) (n=3) 2008 |
|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 窒素施肥量(kg ha ⁻¹) | 80 | 90 |
| 揮散量(kg ha ⁻¹) | 8.2 | 4.5 |
| 損失率(%) | 10.2 | 5.0 |
| 田面水pH* | 6.1-9.7 | 7.2-9.5 |
| 田面水温度* | 34.9 | 25.2 |

| ハノイ (夏作) (n=3) 2008 | ハノイ (春作) (n=3) 2009 | ハノイ (夏作) (n=2) 2009 |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 80 | 90 | 70 |
| 11.7 | 12.0 | 13.4 |
| 14.6 | 13.3 | 19.2 |
| 6.6-8.4 | 7.4-9.0 | 6.9-9.7 |
| 33.4 | 24.2 | 31.7 |

| ハノイ (夏作) (n=2) 2009 | カントー (乾季) (n=1) 2007 | カントー (雨季) (n=2) 2007 |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 140 | 100 | 80 |
| 18.6 | 14.8 | 1.4 |
| 13.3 | 14.6 | 1.7 |
| 6.9-9.9 | 5.0-7.9 | 3.4-6.2 |
| 31.6 | 30.1 | 35.6 |

*：測定時の平均

本研究によりベトナムの水田におけるアンモニア揮散量が初めて測定された。ベトナム以外の熱帯水田（フィリピン）における既存のアンモニア揮散の測定研究は一回あたりの窒素施肥量が大きく現在の農家の肥培管理法と異なっているため、本研究結果は今後ベトナム以外のアンモニア揮散量を推定する上でも役立てられることが期待される。

②水田（ライシメーター）から揮散アンモニアは慣行の水管理で施肥窒素に対して5.9%、間断灌漑で8.1%に相当した（図表省略）。間断灌漑の方が施肥時の湛水深が浅いため田面水中のアンモニア態窒素濃度が高くなり、アンモニアがより揮散しやすい環境であったことが、この理由であると考えられた。節水栽培技術として普及が図られている間断灌漑であるが、施肥時に灌漑を行うようにして、アンモニア揮散による窒素の損失を増大させないように配慮する必要があることが示された。

(2)水田への窒素のインプットとして化成肥料として水田に投入される窒素に加えて、堆肥および灌漑水中の窒素を堆肥と灌漑水の窒素濃度より推定した。また、生物学的窒素固定量を文献値より30 kg N ha⁻¹と仮定した。窒

素の大気降下物（乾性降下物および湿性降下物）については定量出来なかったし、周辺の窒素源の多寡により降下量もことなるので、他の地域で定量された文献値を当てはめるのも妥当ではないので、不明のまま取り扱った。

水田からのアウトプットとして、水稻（粳、ワラ）として持ち出される窒素、アンモニア揮散量を計算した。さらに、水稻中に含まれる窒素のうち施肥窒素に由来するものと、アンモニア揮散量との合計（アンモニア揮散は全て施肥窒素に由来すると見なした）と、施肥窒素量との差を脱窒と溶脱によって失われたと見なした水田における窒素収支は表2のようになった。大気降下物は農地から揮散したアンモニア、家畜糞尿から発生するアンモニアが主たる発生源で農地率が高く、畜産の盛んな紅河デルタおよびその周辺部では揮散した以上のアンモニアが大気降下物として農地に供給されている可能性が高い。一方で、施肥窒素の脱窒、溶脱はアンモニア揮散量よりも大きいことと、水稻へ吸収される窒素のうち施肥窒素に由来する割合は74.1～82.4%に達していたことを併せて考えると、地力窒素の脱窒と溶脱量は水田の窒素収支をマイナスさせるほど大きくても不思議ではない。

表2：ベトナム北部の水田における窒素収支 (kg ha⁻¹)

| | インプット | | | | | 合計 |
|----------|-------|------|------|-------|-------|---------|
| | 施肥 | 堆肥 | 灌漑水 | 生物的固定 | 大気降下物 | |
| バクジャン(春) | 90 | 0 | a | 30 | s | 120+a+s |
| ハノイ(08夏) | 80 | 22.2 | 23.8 | 30 | s | 156+s |
| ハノイ(09春) | 90 | 22.2 | 24.5 | 30 | s | 166.7+s |
| ハノイ(09夏) | 70 | 22.2 | 27.3 | 30 | s | 149.5+s |
| ハノイ(09夏) | 140 | 22.2 | 27.3 | 30 | s | 219.5+s |

| | アウトプット | | | | | 合計 |
|----------|--------|------|--------------------|------------|------------|---------|
| | 籾 | わら | NH ₃ 揮散 | 施肥窒素の脱窒、溶脱 | 地力窒素の脱窒、溶脱 | |
| バクジャン(春) | 58.8 | 34.9 | 4.5 | 52.7 | d | 150.9+d |
| ハノイ(08夏) | 46.1 | 33.1 | 11.7 | 15.8 | d | 106.8+d |
| ハノイ(09春) | 82.1 | 52.8 | 12.0 | 33.1 | d | 180+d |
| ハノイ(09夏) | 50.1 | 39.7 | 13.4 | 18.3 | d | 121.5+d |
| ハノイ(09夏) | 52.6 | 45.1 | 18.6 | 52.5 | d | 168.8+d |

| 収支 | |
|----------|-----------|
| バクジャン(春) | -30+a+s-d |
| ハノイ(08夏) | 49.2+s-d |
| ハノイ(09春) | -13.3+s-d |
| ハノイ(09夏) | 28+s-d |
| ハノイ(09夏) | 50.7+s-d |

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

Takeshi Watanabe, Tran T Son, 他5名、

Measurement of ammonia volatilization from flooded paddy fields in Vietnam, Soil Science and Plant Nutrition, 査読有、Vol. 55, No.6, 2009, pp793-799

[学会発表] (計1件)

渡辺武、ベトナムの水田におけるアンモニア揮散の測定と水田の窒素収支、日本土壤肥料学会愛知大会、2008年9月11日、名古屋市立大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡辺 武 (Watanabe Takeshi)

独立行政法人国際農林水産業研究センター・生産環境領域・主任研究員

研究者番号：40425525

(2)研究分担者

(3)連携研究者