

機関番号：34419

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20405037

研究課題名（和文）流域レベルの物質循環と多面的機能の有効な発現に関する研究

研究課題名（英文）Study on the material cycle and effective manifestation of multifunctionalities in a basin level

研究代表者

八丁 信正 (HATCHO NOBUMASA)

近畿大学・農学部・教授

研究者番号：00268450

研究成果の概要（和文）：国内（琵琶湖沿岸の西の湖流域および近畿大学内圃場）、ベトナム（ハノイ近郊）、タイ（チェンマイ近郊）の3カ国の小流域・地域での研究・調査に基づき物質循環モデルを策定し、持続可能な営農の在り方と、多面的機能を有効に発現させるためのメカニズムについて、明らかにした。研究の成果は、2010年10月に韓国で開催された2010年国際水田・水環境学会（PAWEES）国際会議において特別ワークショップ「持続可能な農業のための物質循環モデリング」を開催し、広くその成果を公表した。

研究成果の概要（英文）：Based on the field study and research at three countries in Japan (Nishinoko basin, Biwa lake area and Kinki University campus field), Hanoi suburb in Vietnam, and Chiang Mai suburb in Thailand, the model for material cycling was established. Utilizing this model, sustainable farming practices for each site and the mechanism for better manifestation of multifunctional roles were identified. Outcomes of the study was widely publicized at the International Workshop on “Material Cycling for Sustainable Agriculture” at the occasion of the 2010 International Conference of the International Society of Paddy, Water and Environment held in Korea in October 2010.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2009年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2010年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

研究分野：農業・農村開発

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：物質循環、循環モデル、小流域、システムダイナミックス、タイ、ベトナム、西の湖流域

## 1. 研究開始当初の背景

地球環境の劣化や資源の枯渇という観点から、持続可能な資源の循環利用システムの確立が求められているにもかかわらず、その具体的な実践にはいたっていない。これは、一定地域（例えば流域）での物質や資源のフロ

ーやストックの状況が十分に解明されていない事が大きな原因である。途上国の多くでは生産拡大のため外部投入材の増大や非持続的な資源の利用により、環境への負荷を増大させる結果となっている。地域資源の賦存状況は、国別、地域別あるいは一定の流域レ

ベルで大きく異なり、資源利用効率向上のために有効な対策を見出すことは必ずしも容易ではなく、また資源の循環という観点からは非常に複雑な流れとなる。このため、一つの要素の資源利用（例えば、水）の変更・改善を行った場合、それがシステム全体にどういった影響をおよぼすかということは明確に判断する事が難しい。

循環的な資源利用を基本とした農業は、タイやベトナム、江戸時代の日本などで実践されてきたものの、体系的な循環システムの分析が行われておらず、新しい地域において循環システムを確立し、多面的機能を有効に発現しようとする場合、試行錯誤によらざるを得ない。

## 2. 研究の目的

本研究では、小流域を対象とした資源の賦存状況、利用状況の調査をタイ、ベトナムを中心に実施するとともに、そうした地域での資源循環営農システムの分析を行い、小流域を対象として資源のフロー・ストックに関連した物質循環モデルの策定を行う。小流域では水の循環が物質の循環に大きく関与しており、水の循環メカニズムの解明（地表水、地下水、降雨、人間の利用、環境・生態系への水）と水利用に伴う水質の変動ならびに環境の浄化作用の分析を行い、最適な水循環利用システムの構築を図る。さらに、水の循環をベースに土壌レベルの栄養分、生産物による物質の流れ、あるいは消費・廃棄ともなる物質のフローを把握し、資源利用上もっとも効率的な資源利用・管理システムの確立を行い、多面的機能の発現を最大限にした持続可能な地域資源循環利用・管理システムの確立を図る。

さらに国内においても琵琶湖沿岸西の湖流域および近畿大学内の圃場を対象に、水利用に伴う水質の変動ならびに環境の浄化作用の分析を行い、最適な水循環利用・資源利用システムの構築を図る。循環的な資源の利用を図る上での、土地利用別（森林、農地、宅地など）の物質収支に基づき、流域レベルの最適な土地・水利用や資源利用方を明らかにする。

さらに、このモデルの開発により農業のもつ環境に対するインパクトを水の循環という観点から明らかにする事が可能となり、現在議論の行われている農業活動や水利用の有する多面的機能の評価や発現のメカニズムの解明が可能となる。さらに、正の多面的機能を効率よく発現させる方策や負の機能（環境負荷）を軽減する方策

も明らかにすることができる。

## 3. 研究の方法

### (1) 検討対象地域と検討内容

物質循環モデルを策定するために、検討対象地域を①日本：琵琶湖沿岸西の湖流域（水田地域における流域レベルの物質循環や窒素・リンを中心とした汚濁物質の浄化方法、機能について検討）、および近畿大学内の圃場（資源作物の浄化・吸収能力）、②ベトナム・ハノイ近郊（都市近郊の集約的野菜、果樹、水稲栽培地域における物質循環メカニズムの解明）、③タイ・チェンマイ近郊（山間地域での有機茶栽培地域における物質循環）の3カ所に設定した。

海外での研究はベトナム国農業科学アカデミー・農業環境研究所、タイ国チェンマイ大学農学部と協力し、モデル策定のための地域の情報、データの収集を行った。

### (2) モデル策定と活用

モデル策定に当たっては、DN-DC モデル(Denitrification-Decomposition モデル)やシステムダイナミクス・モデルを活用し、小流域・対象地域における物質動態についてモデル化を行い、モデルの有効性について、フィールド調査のデータを用いて検証を行った。有効性の確認できたモデルをベースに、効率的な多面的機能の発現（水質浄化）機能や、施肥・投入物の管理による持続的な営農方法の可能性についてシナリオ分析を行った。

## 4. 研究成果

本研究の実施により、窒素を中心とした物質循環メカニズムの解明手法の設立、モデルの有効性の検証、シナリオ分析における持続可能な営農策に対する提言、という成果を、地域・営農条件の異なる3地域について得ることができた。

### (1) ベトナムにおける物質循環メカニズムの解明（ハノイ近郊）

ハノイ近郊の Phuc Ly village, Minh Khai commune, Tu Liem district において、異なる栽培体系における DN-DC モデルを用いた土壌中の窒素および炭素の動態に関する解析を行った。この地域では、都市近郊の特性を生かした集約的な野菜栽培（年7作）が行われており、化学肥料の投入量も窒素で 874.5kg/ha と過大な状況である。このため、環境に過大な負荷をかけている可能性が高い。窒素の動態について、他の作付け体系（米の2期作、バラ、グレープフルーツ）と比較した。検討に当たっては、DN-DC モデルおよびシステムダイナミクス・モデルを用いた。システムダイナミクス・モデルの概略を図1に示す。対象の地域に対して、窒素の循環モデルと、それに関連する水の循環モデルで

構成されており、水と窒素のフローとストックの関係が矢印で示されている。また、モデルの有効性の検証は、土壌中の窒素量を用いて行った。

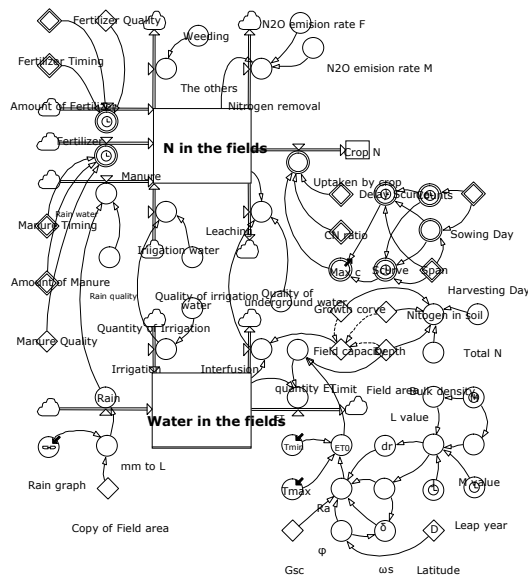


図1 モデル概略図 (ハノイ)

その結果を、それぞれ表1、表2に示す。シミュレーション結果では、作物による窒素の吸収割合は、12-70%と変動が大きく、米の場合は比較的多くの投入窒素が吸収されていたものの、バラ、グレープフルーツ、野菜の順に窒素の作物による吸収割合が低下し、野菜の場合は、12-21%しか作物に吸収されていなかった。吸収されなかった窒素は、脱窒や洗脱により環境中に排出されるか、土壌中に蓄積される結果となっている。

表1 DN-DCによる窒素の動態(kgN/ha)

N 収支	①	②	③	④
N 肥料投入	200	416.7	534.5	874.5
N 固定	7.4	0	0	0
N リーチング	1	10.9	4.5	0
N 流出	0	0	0	0
N 作物吸収	131.6	160.3	136.2	180.5
N 雑草吸収	70.2	0	0	0
NH <sub>3</sub> 揮発	24.4	188.7	5	308.3
N <sub>2</sub> O 揮発	0	0	0.5	5
NO 揮発	0	1.4	7.8	96
N <sub>2</sub> 揮発	0.4	0.1	171.5	34.8
土壌中の変化	36	115.4	274	529.2

① 米(2期作)、②グレープフルーツ、  
③ バラ、④野菜 (7作)

土壌中の蓄積量は、野菜で投入量の33-60%に達している。こうした窒素は、激しい降雨などがあった場合は、環境中に流出して、水質汚染や富栄養化の問題につながる

と考えられる。このため、経済性(施肥コストと収量)を考慮した肥料の適正投入量を算定し、環境への流出を抑えるとともに、一定の収量水準を維持することで農家経済への影響を最小限に抑えることが重要である。

表2 システムダイナミクスを用いた窒素の動態(kgN/ha)

N 収支	①	②	③
N 肥料投入	200.0	560.3	1066.0
降雨によるN	4.8	4.8	4.8
灌漑によるN	46.4	1.4	48.1
N 洗脱・流出	105.1	82.5	129
N 作物等吸収	178.6	142.8	133.1
脱窒	27.3	197.1	451.7
土壌中のN変化	-55.4	159.9	355.3

① 米(2期作)、②グレープフルーツ、  
③ 菜 (7作)

(2) モデルの適用 (タイ国チェンマイ近郊)

チェンマイの北方約 60 kmにある Mae Taeng 地域の Raming Tea プランテーションにおいて、ベトナムで開発したシステムダイナミクス・モデルの適用を行った(図2)。この地区では、2005年から茶の有機栽培が行われており、その状況で土壌中の窒素の動態について明らかにすることを目的に調査・分析を行った。

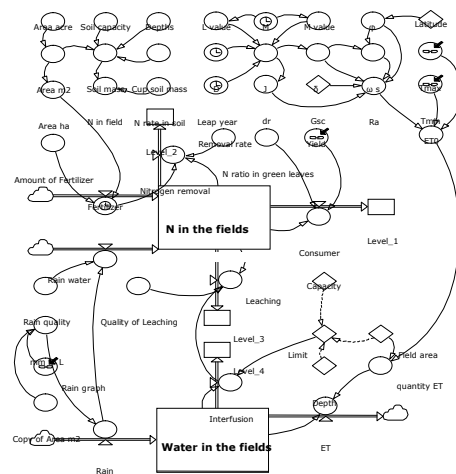


図2 モデル概略図 (チェンマイ)

このモデルを適用した2001-2009年の、土壌中の窒素の増減に関するシミュレーションの結果を表3に示す。2005年までは窒素肥料を45kg/ha投入していたものの、それ以降肥料の投入は行われておらず、窒素の供給は基本的に降雨によるものだけとなっている。このため、近年は収量が低下傾向にあり、この

ままの状態が続けば、土壌中の窒素が枯渇し、大きな収量低下につながると思われる。作物吸収分の窒素は、何らかの形で補っていく必要があると考える。

表 3 有機栽培茶園における土壌中の窒素の増減 (2001-2009 kgN/ha)

年	肥料	降雨	作物吸収	洗脱流出	脱窒	土壌中増減
01	45	2.5	10.2	7.2	1.1	+29.0
02	45	4.4	10.2	30.1	1.1	+8.0
03	45	3.0	10.2	13.5	1.1	+23.2
04	45	3.7	10.2	28.1	1.1	+9.3
05	0	4.3	6.9	29.5	0	-32.0
06	0	4.7	6.9	38.8	0	-41.0
07	0	3.6	6.9	20.5	0	-23.8
08	0	3.6	6.9	17.6	0	-20.9
09	0	3.4	7.3	17.3	0	-21.2

この事例の場合、農業による環境負荷は発生していないものの、収量の動向を考えた場合有機肥料などにより一定の投入を行い、収量の安定化を図ることが重要であると考えられる。

### (3) モデルの適用 (西の湖流域)

西の湖流域においては、西の湖流域全体の物質(窒素、リン)の動態の解明および、人工湿地の浄化機能の解明を行うために、物質循環モデルの適用による検討を行った。

#### ① 西の湖流域の物質動態

2009年度に西の湖の流入・流出河川における水質・流量調査を行い、西の湖への全窒素(T-N)・全リン(T-P)流入量と西の湖から琵琶湖への流出量を測定し、西の湖の浄化能力の算定を行った。流量の算定にはシステムダイナミクスを用いて、流量変動をモデル化し、それに基づいて日流量を算定した。河川ごとの窒素流入量の変動を図3に示す。農業排水が増加する4月、5月に負荷量が増加している。4月は代掻き期であり、代掻き期の日平均負荷量は年間における日平均負荷量の約1.5倍となった。

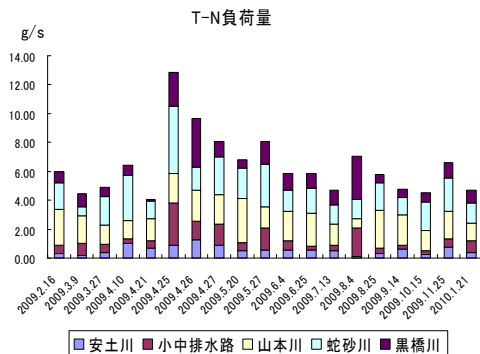


図 3 河川別の窒素流入量

年間を通した総流入負荷量は、183.3 トンであった。灌漑期と非灌漑期を比較すると、灌漑期には75.9 トン、非灌漑期には93.7 トン西の湖へ流入しており、年間流入総負荷量に灌漑期が占める割合は約41%となった。また、西の湖から琵琶湖への総流出量は、132.8 トンと計算され、流入と流出の差から、年間約36.8 トン(22%)の窒素が西の湖で浄化、吸収されていることが明らかとなった。

リンについても同様の検討を行った結果、年間総流入負荷量は19.2 トンと算定された。また、灌漑期に10.5 トン、非灌漑期に8.7 トン西の湖へ流入しており、灌漑期が総負荷量の約55%を占めている。西の湖から琵琶湖への総流出量は、12.9 トンであり、西の湖によるリンの負荷削減量は6.3 トン(33%)という結果となった。

#### ② 人口湿地の浄化機能の解明

西の湖流域における農業排水を中心とした面源負荷流出対策の一つとして人工湿地「ヨシきりの池」が、西の湖東岸部に建設されている。この「ヨシきりの池」での窒素・リンの物質収支を把握し、水質浄化機能を算定するとともに、人工湿地管理モデルの構築を行った。

よしきり池における窒素の流入、流出量および降雨量を図4に示す。

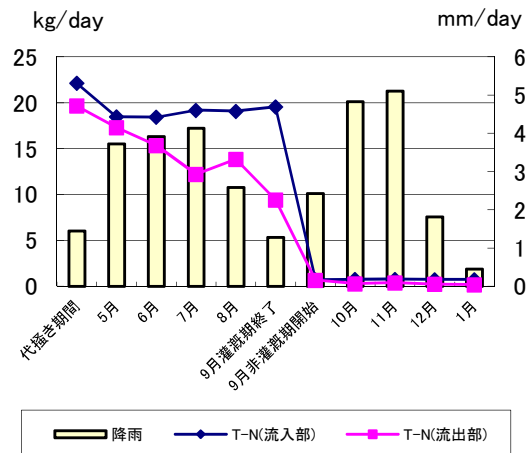


図 4 よしきり池への窒素流入、流出量

全窒素の流入、流出量は、代掻き期間中が最も高い値となり、その後は減少傾向を示した。流入量は通常灌漑期間中は大きな変動はなかったものの、流出量は代掻き期間から7月頃まで減少する傾向がみられた。原因として、ヨシやキショウブなどの水生植物の成長に伴い吸収される窒素量が増大することや、気温上昇による水中での微生物活動の活発化により、脱窒反応が加速されることなどが考えられる。8から9月にかけて流出負荷量の減少停滞が見られるが、これは水生植物の成長が止まった事が原因であると考えられ

る。

全リンは図5に示すように、5月に流出負荷量が大きく増加し流入負荷量を上回った。これは4月下旬から代掻き期に入り流量が大きく増加したため、池の底に沈殿したリンが巻き上げられ、流出したことが考えられる。その後、流入量の低下に伴い流出量も低下していくものの、流出量が常に流入量を下回っており、これは水生植物の成長等によるリンの吸収によるものであると考える。

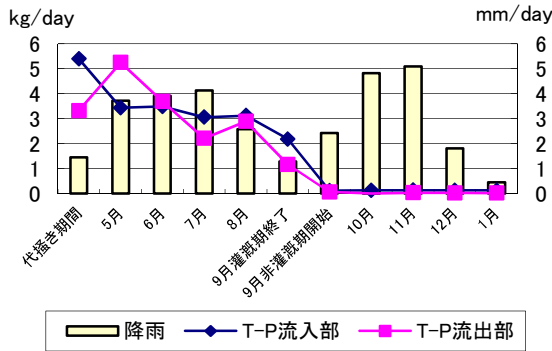


図5 よしきり池の全リンの流入、流出量

表4 全窒素、全リンの期別浄化率

浄化率*	全窒素(%)	全リン(%)
代掻き期	11.2	38.6
通常灌漑期	27.2	2.7
非灌漑期	60.7	83.8
全期間	30.1	10.4

\*浄化率 (%) = (流出量-流入量) / 流入量

ここで、期間別の浄化率と負荷量減少量について検討した。表4に示すように、全窒素・全リンともに非灌漑期において最も高い浄化率となった。この要因として、流入量が少ないため水の滞留時間が長くなり、浄化率としては高い値になったものと考えられる。全期間を通じての平均浄化率は、全窒素が約30%、全リンが約10%となった。

また、表5に期間別の負荷量を示す。

表5 期別平均負荷量 (kg/日)

	入 T-N	出 T-N	入 T-P	出 T-P
代掻き期	22.1	19.7	5.4	3.3
通常灌漑期	18.6	13.6	3.1	3.0
非灌漑期	0.8	0.3	0.1	0.0
全期間	11.0	7.7	1.9	1.7

全窒素 (T-N) は通常灌漑期 (5.1kg/day)、全リン (T-P) は代掻き期 (2.1 kg/day) が最も高い減少量になった。浄化率では非灌漑

期に高い値を示していたが、流量そのものが小さいため負荷量そのものは全窒素・全リンともに最も低い値となった。この様に「よしきりの池」は一定の農業排水水質浄化機能を果たしているものの、浄化量は灌漑期間の違いによる水量の変動、水深、温度や日射、植物の生育条件、または水質項目により大きく変動することが示された。

ここで、システムダイナミクスを用い、「よしきりの池」の物質循環についてモデルの構築を行った (図6)。

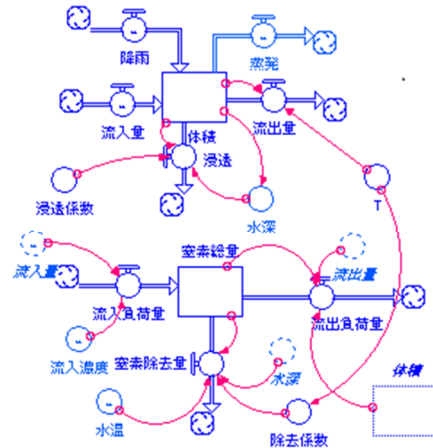


図6 「よしきりの池」の循環モデル

策定したモデルの適用性については、流量と負荷量を用いて検証を行った。こうして構築したモデルを用いて、窒素除去量の変化について、モデル中に用いた窒素除去係数 (調査による係数は0.17) に対する感度分析を行った。窒素除去量が増大するにつれて、有効除去量は低減する傾向にあり、除去係数を0.3程度に増大させることで、有効な除去を行える可能性が示唆された。

#### (4) まとめ

水の循環を基本とした物質循環メカニズムについて、営農条件の異なる3地域(日本、ベトナム、タイ)において、現地調査により収集した情報をもとに、モデル化を行い、その適用性について検証した。さらに、策定したモデルを活用した多面的機能(水質浄化、温暖化ガス抑制)の有効な発現対策やシナリオ分析による持続可能な営農方法についても考察を加えた。

策定したモデルに関しては、今回の研究を通じて、一定の有効性の確認はできたものの、今後も継続的にデータの蓄積を行い、その精度の一層の向上を行うことが必要になると考える。

## 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 5 件)

- ① Pham Quang Ha, Nobumasa Hatcho, Mai Van Trinh, Yutaka Masuno, Organic carbon in Vietnamese soils as affected by soil types, cropping system and material cycling. 査読なし Proceedings of the Workshop on Material Cycling for Sustainable Agriculture (Oct. 28, 2010, Jesu, Korea) INWEPF-PAWEES, 2010, Vol. 1, p. 2-7
- ② Mai Van Trinh, Pham Quang Ha, Vu Duong Quynh, Pham Thanh Ha, Nobumasa Hatcho, Yutaka Matsumo Carbon sequestration and nitrogen cycle on different cropping systems in Red River Delta. 査読なし Proceedings of the Workshop on Material Cycling for Sustainable Agriculture (Oct. 28, 2010, Jesu, Korea) INWEPF-PAWEES, 2010, Vol. 1, p. 14-26
- ③ H. Konegawa, Y. Matsuno, and N. Hatcho Analysis of a nitrogen cycle at a field level in northern Thailand and northern Vietnam. 査読なし Proceedings of the Workshop on Material Cycling for Sustainable Agriculture (Oct. 28, 2010, Jesu, Korea) INWEPF-PAWEES, 2010, Vol. 1, p. 27-35
- ④ 谷田清史、藤井健嗣、松野裕、八丁信正、越智士郎 西の湖の窒素・リン収支および人工湿地における水質浄化機能の解明 査読なし 近畿大学資源再生研究所報告 2010. Vol. 8 p. 39-45
- ⑤ 油谷哲靖、松野裕、越智士郎、八丁信正、琵琶湖東岸地域の西の湖流域における物質循環に関する研究 査読なし 近畿大学資源再生研究所報告 2009. Vol. 7 p. 37-43

[学会発表] (計 5 件)

- ① 谷田清史、松野裕、八丁信正 西の湖流域内の人工湿地における水質浄化機能の評価、農業農村工学会大会講演会、2010年9月1日、神戸
- ② 藤井健嗣、松野裕、八丁信正、西の湖流域における窒素・リン動態の変動についての研究、農業農村工学会大会講演会、2010年9月2日、神戸
- ③ Yoshiyuki. Shinogi Global Warming Alleviation from Agriculture,

Proceeding, 7th AFAS Symposium between Korea and Japan. Chuncheon (Korea), Nov. 11, 2010

- ④ 油谷哲靖、松野裕、越智士郎、八丁信正、琵琶湖東岸地域における物質循環に関する研究、農業農村工学会京都支部講演会、平成20年11月8日、福井

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

八丁 信正 (HATCHO NOBUMASA)  
近畿大学・農学部・教授  
研究者番号：00268450

### (2) 研究分担者

凌 祥之 (SHINOGI YOSHIYUKI)  
九州大学・大学院・農学研究科・教授  
研究者番号：10399363  
松野 裕 (MATSUNO YUTAKA)  
近畿大学・農学部・教授  
研究者番号：50340766  
越智 士郎 (OCHI SHIRO)  
近畿大学・農学部・准教授  
研究者番号：80251081  
(H20-H21)

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：