

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：21860049

研究課題名（和文）ベトナムにおける流域内の都市化に伴う郊外・農村部の栄養塩収支の変容

研究課題名（英文）Transition of nutrient balance in rural and peri-urban areas through urbanization in a river basin of Vietnam

研究代表者

原田英典 (HARADA HIDENORI)

京都大学・地球環境学堂・助教

研究者番号：40512835

研究成果の概要（和文）：ベトナム国 Nhue-Day 川流域にて、都市化に伴って栄養塩収支がいかに変容するかを明らかにすることを目的とし、地域栄養塩資源（尿尿・糞尿等）の利用に注目した窒素・リン収支およびその変化をマテリアルフローに基づき推計した。その結果、農業が地域の栄養塩資源の循環に極めて重要な役割を担っていることが示された。また、近年の流域の都市化を通じた畜産頭数の増加に伴い、農地へのインプットおよび系外へのアウトプット共に、畜産糞尿の寄与が大きくなっていることが示された。

研究成果の概要（英文）：Nutrient balances may have changed drastically through urbanization in Nhue-Day river basin in Vietnam. To know the balances and their transition, this study estimated material flows of nitrogen and phosphorus in the basin with focus on waste-oriented regional resources such as human and livestock excreta. As results, agriculture has played a crucial role for nutrient recycling in this area. It was indicated that nutrients input to agriculture and output to the environment have increased recently; the contribution of livestock excreta to the increase have risen due to a recent increase of the livestock number through urbanization in the basin.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,020,000	306,000	1,326,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	1,920,000	576,000	2,496,000

研究分野：環境工学

科研費の分科・細目：工学・土木環境システム

キーワード：土木環境システム, 栄養塩類, マテリアルフロー, ベトナム, Nhue-Day 川流域, 都市化

1. 研究開始当初の背景

都市化が深刻なアジア諸国にあって、他のアジア諸国と同様、都市化に伴う流域の水環境の悪化がベトナムにおいて深刻化している。ベトナムでは、とくに有機汚濁についての調査・研究が盛んであり、例えば、Nhue 川における有機物汚濁機構の研究 (Duc, 2005)、Nhue-Day 川流域汚濁負荷インベント

リー研究 (ICEM, 2008) などがある。

当該流域を対象とした有機汚濁に関する研究が進められる一方、現実には栄養塩類による汚染（富栄養化、地下水硝酸汚染など（多くの地域は地下水依存））も深刻である (ICEM, 2008)。政府は下水道の整備を急ぐが、栄養塩類の除去率が高い高度処理の普及が爆発的に進むとは期待できない。このまま

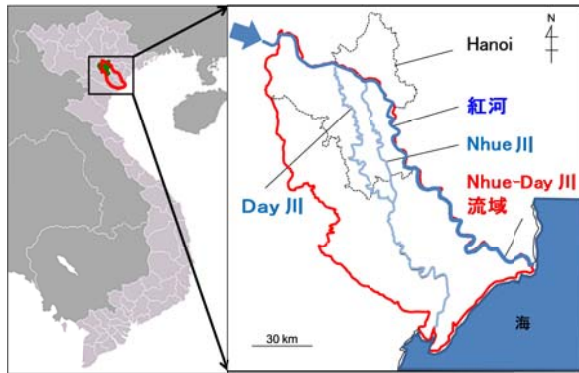


図1 ベトナム国とNhue-Day川流域

いけば、多くの流域が栄養塩問題に今以上に悩まされる可能性がある。しかし、都市化による流域内の多様な変化の中、流域全体としての栄養塩収支がいかに変容するかは、都市下水の増加、化学肥料の普及、農地減少など、極めて複雑である。流域の栄養塩収支の変容の解明は、流域の適切な栄養塩管理に大きく貢献しうる。

一方、栄養塩による汚濁のみならず栄養塩を資源として見ると、都市化に伴う地域栄養塩資源（糞尿など）の伝統的循環利用の喪失、リン資源の枯渇、窒素化学肥料生産に伴う多エネルギー消費などの課題が挙げられる。有機汚濁が依然深刻な途上国においても、流域の栄養塩管理の視点を持った取り組みは極めて重要である。

ところで、流域内には広大な郊外部・農村部が広がるが、現時点で都市ではないこれら地域は、都市化によるダイナミックな栄養塩収支の変化が起こりうると考える。ベトナムにはもともと家畜糞尿や、尿尿分離トイレを用いた人尿尿の農業利用の伝統があり（Winblad, 2004）、地域栄養塩資源が農業に多く利用されてきた。しかし、ハノイ郊外部では尿尿分離トイレの利用率は24%まで落ち込むなど（Harada et al., 2010）、地域栄養塩資源の利用減少が予想される。さらには、化学肥料への移行、農地の減少、人口の増加と汚水の増加、家畜の減少と家畜糞尿の減少など、都市化とともに栄養塩収支に関わる多様な要因の変化が、複雑に絡み合う。

このように、流域内の郊外部・農村部における都市化に伴う栄養塩収支の変容を解明することは、当該流域全体の栄養塩収支の変容を解明するための重要な要素である。

2. 研究の目的

都市化が進む途上国において、都市化に伴う栄養塩収支の流域での変容をとらえることを将来的な目標とし、本研究では、流域の郊外部・農村部において、都市化に伴って栄養塩収支がいかに変化するかを明らかにすることを目的とする。特に、地域栄養塩資源（尿尿・糞尿等）の利用に関連する栄養塩収

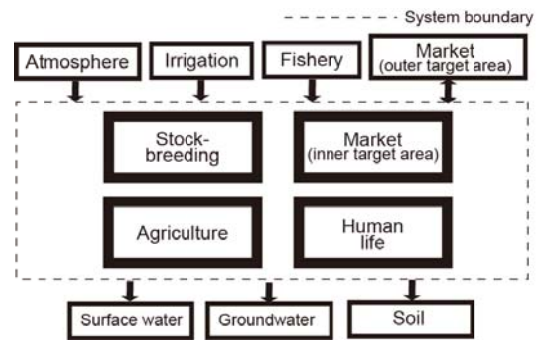


図2 本研究のマテリアルフローでのシステム境界

支の変化に注目する。

具体的には、ベトナム北部に位置するNhue-Day川流域（紅河流域の分流域）を対象とする（図1）。同流域は、流域面積7,665km²、人口870万を有し、ベトナムの首都ハノイ市の都市部の大部分を含む。都市部、郊外部、農村部、工業地域、手工芸地域といった多様な地域により構成され、国内の重点改善3流域の1つに挙げられる。

3. 研究の方法

(1) マテリアルフローモデルの構築方法

本研究では栄養塩の収支の把握に向け、フィールド調査によるデータの獲得と同時に、窒素およびリンのマテリアルフローを構築した。本研究におけるマテリアルフローの境界条件を図2に示す。マテリアルフローモデル中のプロセスとしては、人間生活（Human life）、農業（Agriculture）、畜産（Stockbreeding）、漁業（Fishery）および市場（Market）を設定した。なお、農業プロセスでのリンの土壌への蓄積は土壌を系外としたため、本研究では系外への移動量として計算した。以下の式に基づきマテリアルフローを構築した。数式中の $I_{i,m-n}$ および $O_{i,m-n}$ (kg N/year or kg P/year) は、それぞれ各要素 i （リンもしくは窒素）のインプットフローおよびアウトプットフローを示す。

$$X_{i,m-n,y} = M_{i,m-n,y} \times C_i \quad (1)$$

なお、 $X_{i,m-n,y}$ は要素 i （リンあるいは窒素）のプロセス m からプロセス n への y 年における移動量を、 $M_{i,m-n,y}$ はプロセス m からプロセス n への y 年における対象物の移動量を、 C_i は、対象物における要素 i の濃度を示す。

(2) ハノイ市および郊外集落での調査

ハノイ市はNhue-Day川流域の上流部に位置し、その多くは同流域に属する（図1）。そこで、本研究ではハノイ市の全都市区および全郊外区を対象として、6区9コミュニティ177世帯に対して、世帯訪問による地域栄養塩資源（尿尿・糞尿等）のストリーム調査を行い、リンのマテリアルフロー構築を行った。さらに、より具体的な都市化影響を継時的に

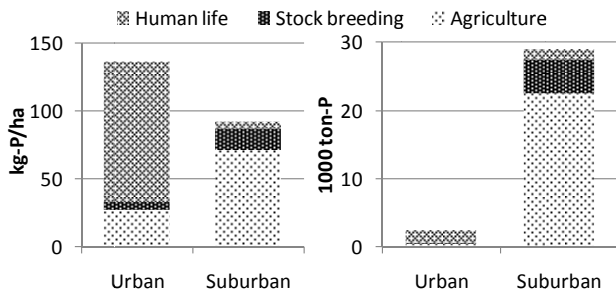


図3 単位面積当たり（左図）および総量（右図）としての系外へのリンの移出量

検討する基礎として、都市化に伴う影響が大きいと予想されるハノイ市郊外における集落（PhuXuyen区VanTuコミュニティのTrai集落、人口800人、農地面積52.6ha）を例として、100世帯に半構造的訪問調査を実施し、より現地の郊外部の生活様式に特化したマテリアルフローモデルを構築した。リン及び窒素のマテリアルフローを用い、1980～2010年におけるフローの変化および廃棄物・排水管理および地域資源利用形態の変容を検討した。

(3) 流域での調査とマテリアルフローモデルの拡張

マテリアルフローモデルの流域各地区への拡張を目指した。栄養塩収支に影響を与え、都市化による変化を示す社会・経済統計データとして、人口密度、畜産頭数/人、農地面積/人などを抽出し、これらにより流域内各地区を都市部、農村部、特に畜産が盛んな農村部、特に農業が盛んな農村部に分類した。さらに、モデルで特に感度が高かった一部の畜産に関する情報については、地域分類ごとに合計12コミュニティ300世帯にインタビュー調査を行うことで整備した。

得られたデータより、マテリアルフローモデルを流域全体の各地区に拡張・適用することで、流域内の都市化に伴う郊外・農村部の栄養塩収支構造の変化の解析を試みた。

4. 研究成果

(1) ハノイ市における栄養塩収支

ハノイ市都市区および郊外区それぞれにおけるプロセスごとの系外へのリン移出量を図3に示す。都市区と郊外区を比較すると、総量では郊外区から系外への移出量合計(29,038 ton-P/year)は都市区(2,434 ton-P/year)の11.9倍に及んでいたが、一方で、単位面積当たりでは都市区の移出量(136 kg-P/ha/year)は郊外区(92 kg-P/ha/year)の1.5倍となっていた。さらに、都市区における移出の76%は人間生活由来(102 kg-P/ha/year)であり、そのうち86%は排水であった。郊外区における移出の78%は農業由来(71 kg-P/ha/year)であった。特に都市区における人間生活からの面

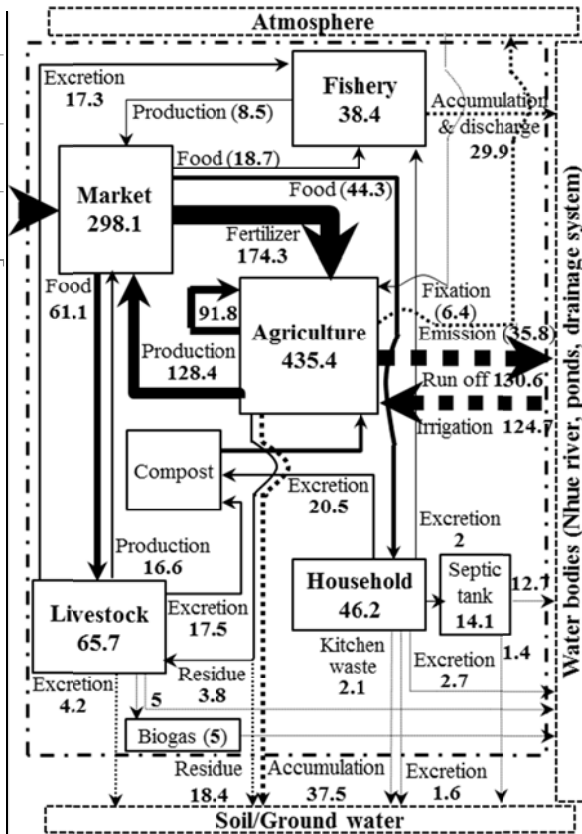


図4 郊外集落（Trai集落）における窒素のマテリアルフロー (kg-N/ha/year, 2010年)

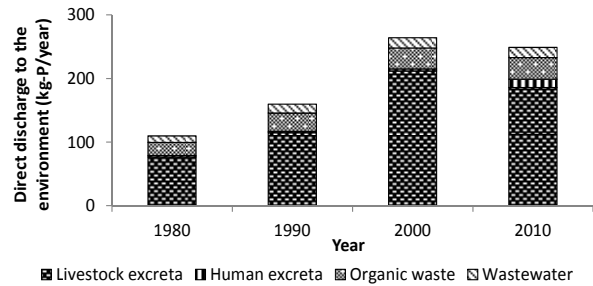


図5 郊外集落（Trai集落）におけるリンの系外流出量の流出源別の変遷

積当たり移出量は多く、郊外区の農業と比べても1.4倍に及ぶ。以上より、ハノイ市全体としてのリン資源管理としては郊外区農業での適正管理が重要となる一方、汚染制御の観点からは面積当たり移出量が多い都市区生活排水が大きな影響を与えると言えるだろう。

(2) 郊外集落における栄養塩収支とその変容

当該集落の窒素のマテリアルフローの結果を図4に示す。別途構築したリンフローも含め、最も多くの栄養塩が移出入するプロセスは農業であった。同時に、農業は廃物由来の地域栄養塩をもっとも多く受け入れるプロセスでもあり、人屎尿由来窒素の50%およ

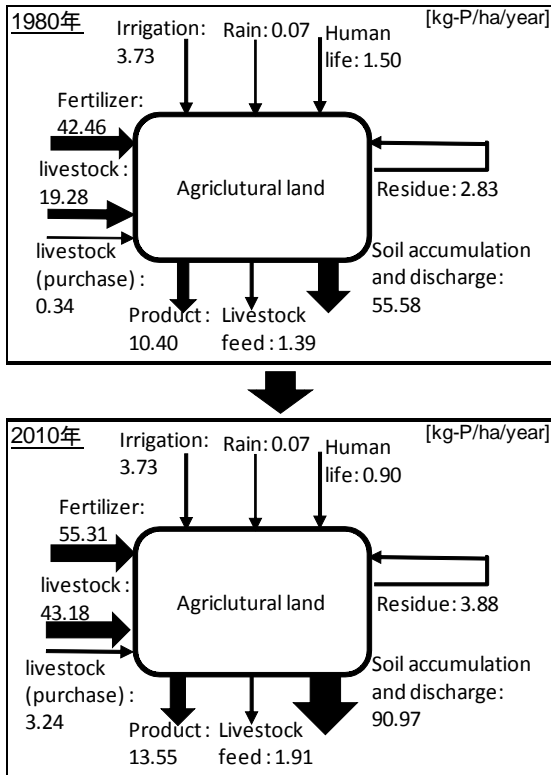


図6 Nhue-Day川流域における農業でのリン収支

び畜産糞尿由来の窒素の36%、農業残差由来の窒素の83%は農地に循環利用されていた。このことから、郊外地区では地域資源が現在も高い割合で循環利用されていること、および農業が地域資源の循環利用に主要な役割を果たしていることが示された。

当該集落のリンの系外流出量の変遷を流出源別に推計した結果を図5に示す。1980年代から2000年代にかけて急速に系外流出量が増え、2000年から2010年には微減していることが示された。同時に、畜産糞尿が系外移出量の中で大きな割合を示していること

が分かり、畜産糞尿の効果的な農業利用が当該地域の適切な栄養塩管理を実現するうえで極めて重要であることが示唆された。

(3) Nhue-Day川流域における栄養塩収支とその変容

1980年および2010年における流域全体での農地におけるリン収支を図6(全て農地面積当たりのリン移動量)に示す。1980年から2010年にかけて、化学肥料の投入量は42.46 kg-P/ha/yearから55.31 kg-P/ha/yearに微増していた一方、畜産廃棄物の投入量は19.28 kg-P/ha/yearから43.18 kg-P/ha/yearに大幅に増加していた。また、水・土壌系への流出(蓄積)量は55.58 g-P/ha/yearから90.97 kg-P/ha/yearに大幅に増加していた。

上記の結果を言い換えると、1980年から2010年にかけて、農地への全投入量のうち化学肥料が占める割合は、60%から50%に減少していた一方、畜産廃棄物が占める割合は28%から42%に増加していた。この背景として、流域全体として畜産廃棄物の利用率自体は減少しているものの、流域の都市化に伴う畜産製品の需要増大の影響もあり、家畜頭数が増加し、それに伴い家畜糞尿発生量が大きく増加していることがある。畜産糞尿の一層の農業利用と、それによる化学肥料の使用量の抑制の必要性が近年ますます高まっていることが示唆された。同時に、ベトナム国の畜産振興の方針もあり、今後さらに畜産頭数が増加することが予想される中、一層その傾向が顕著になることが予想される。

図7に2010年における(a)農地面積当たりの農地へのリン投入量[t-P/ha/year]、(b)農業における域内リン自給率[-]および(c)受入可能量に対する未利用有機系廃棄物の割合[-](未利用分受け入れ可能率 = 未利用有機系廃棄物量 / 受入可能量、域内リン自給率 = 1 - (化学肥料使用量 / 農地への全投入量)として推計)

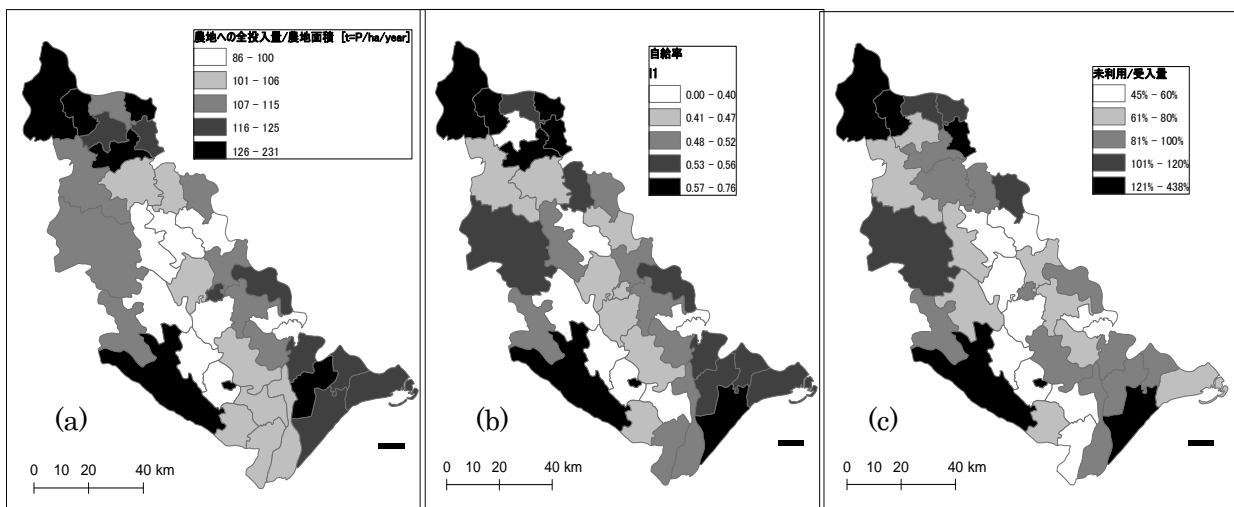


図7 地域ごとのリン収支の計算結果; a: 農地面積当たりの農地へのリン投入量 [t-P/ha/year], b: 農業における域内リン自給率 [-]および c: 受入可能量に対する未利用有機系廃棄物の割合 [-] (未利用分受け入れ可能率 = 未利用有機系廃棄物量 / 受入可能量、域内リン自給率 = 1 - (化学肥料使用量 / 農地への全投入量)として推計)

外、南シナ海側の地域、南西地区(山間部)である地域において高くなっていた。これらの地域は農地面積あたりの畜産頭数が高い地域でもあり、これに比例して高くなっていると考えられた。農業における域内リン自給率についても同様で、農地面積あたりの畜産頭数が多い行政区ほど高くなる傾向が見られた。しかし、農地面積あたりの豚の頭数が多い行政区と、農地面積あたりの牛の頭数が多い行政区は必ずしも一致しておらず、これらの畜種ごとの糞尿農業利用率の差異が、地域による自給率の差異に寄与していた。この結果より、栄養塩の収支の観点からは、Nhue-Day 川流域においては発生する有機系廃棄物を流域内で農業用栄養塩資源として受入れることは潜在的には可能であると言える。

また(a), (b), (c) を比較すると、農業における域内自給率の高い行政区ほど、受入可能量に対する未利用有機系廃棄物量の割合が高い傾向が見られた。さらに、農地面積あたりの畜産頭数が多い行政区ほどこれらの傾向が顕著であった。本流域では都市化に伴う畜産品の需要の増大に伴い畜産頭数が今後増加することが予想される。そのため、未利用有機系廃棄物量の増加が見込まれ、水・土壌環境中への負荷が高まることが懸念される。

5. まとめ

本研究では、都市化が進むベトナム国Nhue-Day 川流域にて、都市化に伴って栄養塩収支がいかに変化するかを明らかにすることを目的とし、地域栄養塩資源(尿尿・糞尿等)の利用に関連する栄養塩収支の変化をマテリアルフローに基づき推計した。その結果、農業が地域の栄養塩資源の循環に極めて重要な役割を担っていると共に、近年の畜産頭数の増加に伴い、農地へのインプットおよび系外への移出共に、畜産糞尿の寄与が大きくなっていることが示唆された。今後の同流域の栄養塩類の管理に向けては、ますます増加すると予想される畜産糞尿の農地利用を促進すること、および化学肥料をこれに置き換えその使用量を低減させることが重要であることが示唆された。

以上の成果は、当該流域の栄養塩管理の改善に貢献すると共に、本研究で用いた手法は、関連データの整備率が低い途上国における栄養塩収支水系の方法として他地域においても活用できる。

6. 主な発表論文

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 原田英典, 足立匡, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Lien, Huynh Trung Hai (2010) ハノイ市における汚水管理・農業・畜産に注目したリンフロー分析, 環

境工学研究論文集, **47**, 465-474.

- ② Harada, H., Dong, N. T., Matsui, S. and Fujii, S. (2010) Traditional Urine-diversion Practices in Sub-urban Hanoi, Vietnam: Replaced or Promoted?, *Water Practice and Technology*, **5**(3), 1-6.

[学会発表] (計 3 件)

- ① Giang, P. H., Harada, H., Fujii, S., Lien, N. P. H., Hai, H. T. and Tanaka, S. (2011) Transition of Waste and Wastewater Management and Phosphorus Flow under Rapid Modernization: a Case Study in a Sub-urban Community, Hanoi, The 4th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition, October 4, 2011, Tokyo International Forum.
- ② 駒井俊也, 原田英典, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Lien (2011) ベトナム国Nhue-Day 川流域における農業及び畜産に注目したリン収支の変容把握, 第 11 回 環境技術学会, 2011 年 9 月 5 日, 大阪工業大学.
- ③ 原田英典, 足立匡, 藤井滋穂, Nguyen Pham Hong Lien, Huynh Trung Hai (2010) ハノイ市における汚水管理・農業・畜産に注目したリンフロー分析, 第 47 回環境工学研究フォーラム, 2010 年 11 月 13 日, 高知大学.

7. 研究組織

(1) 研究代表者

原田 英典 (HARADA HIDENORI)
京都大学・地球環境学堂・助教
研究者番号: 40512835