

ブルキナファソ農村世帯のマテリアルフロー分析に基づく し尿の資源循環利用方策の検討

牛島 健*, 佐藤 伶*, Loïc LERAY**, 土方 野分*, 伊藤 竜生***, 船水 尚行*

**Resource Recycling System for Human Excreta Based on the Analysis of Material Flow
Related to Agricultural Production in Rural household of Burkina Faso**

Ken USHIJIMA*, Rei SATO*, Loïc LERAY, Nowaki HIJIKATA*,
Ryusei ITO*** and Naoyuki FUNAMIZU***

*Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Kita13 Nishi8, Kita-ku, Sapporo City, Hokkaido, 0608628 Japan

**Faculty of Geosciences and Environment, University of Lausanne, CH-1015 Lausanne, Switzerland

*** Water, Decontamination, Ecosystem and Health Laboratory, International Institute for Water and Environmental Engineering (2iE), 01, BP 594, Ouagadougou, 01, Burkina Faso

Abstract

This study examined food, sanitation and agricultural material flow in and around rural farmer household in Burkina Faso, in order to assess the impact by agricultural reuse of human excreta and grey water. Flow scales of grey water and nutrient from human excreta were much smaller than that required in crop field, however same level as that required in vegetable gardens. Utilizing those resources in vegetable garden seemed to be effective. According to potential assessment based on plants requirements, provided nitrogen, phosphorus, potassium and water have a potential to maintain vegetable garden of 1209 m², 302 m², 397 m² and 21 m² respectively. If there is no other input, water becomes limiting factor and large amount of nutrients especially nitrogen becomes excess. Effective irrigation system becomes important to increase vegetable garden. Furthermore, urine transportation to another area where there is more precipitation should be also considered.

Key Words: Resource recycling sanitation, water reuse, agriculture, material flow analysis

1. はじめに

食糧生産に必須となるリンは鉱物資源に依存しており、将来の資源枯渇に備えてリン産出国のいくつかは実質の輸出規制をすでに始めている。また、窒素についてもその生産は石油エネルギーに強く依存しており、石油が枯渇すればその生産は難しくなる。人口増加とそれに伴う食糧危機が懸念される今日、食と農の分野においても資源の循環利用が世界共通の課題と言える。食の最終経路であるし尿をはじめ、生活雑排水といった生活系廃棄物を農業生産につなげることは、適切な流域管理という観点だけでなく、世界的な問題である資源管理の面からも重要性を増していると言える。

し尿を農業生産につなげるしくみは、東アジアを中心にすでに古くから小規模では実践されてきた手法である¹⁾。近年では、アジア・アフリカなど多くの発展途上国における衛生プロジェクトにおいても、し尿の

*北海道大学 工学研究院 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目

**Faculty of Geosciences and Environment, University of Lausanne, CH-1015 Lausanne, Switzerland

*** Water, Decontamination, Ecosystem and Health Laboratory, International Institute for Water and Environmental Engineering (2iE), 01, BP 594, Ouagadougou, 01, Burkina Faso

農業利用が提唱されている²⁾³⁾。しかし、日本の江戸時代のように長期間にわたり比較的大規模なし尿循環利用システムが運営された例は世界的に見てもほとんど無い⁴⁾。日本の過去のし尿循環利用システムを成立させた一つの要因として、人口増加に伴う食糧増産の必要性から、農地開拓とそれに伴う肥料需要の増加がし尿循環利用を後押ししたと言える⁴⁾⁵⁾⁶⁾。実際にし尿循環利用システムを継続的に成立させるためには、少なくとも、日々発生するし尿を受け入れる安定した需要が存在することが必須と言える。さらに、本研究で扱う西アフリカのような農業資源に乏しい場所において、需要すなわちここでは農業生産の場、を新たに作り出す場合であれば、し尿肥料だけでなく、その他の農業生産に必要なリソースも同時に供給される必要がある。こうした条件が満たされなければ、最終的にし尿は行き場を失い、システムは破綻する。

よって、農業とリンクした新しいし尿循環利用システムを設計し、その導入インパクトを正しく評価するためには、実際の農業生産に必要な各種リソースのマテリアルフローを網羅的に把握した上で、新しく提案するシステムが新たに提供できるリソースの種類と量を計上し、それらの農業生産へのインパクトを評価することが肝要と思われる。

本研究では、貧困、飢餓、水・衛生といった多くの問題を抱える西アフリカ・サヘル地域のブルキナファソ国農村部に着目し、し尿をはじめとする生活系廃棄物を農業生産につなげる仕組みについて、上記の観点から検討を行った。具体的なアプローチの方法としては、まず同地域での現地調査例の結果を用いて、現在の農家のマテリアルフロー分析を行い、現状のフローの中で農業生産を高めるポテンシャルリソースがどこにどの程度存在しているのかを明らかにした。そして、それらのポテンシャルを農業生産につなげた場合について、実際の農業生産に必要なリソースのバランスを考慮した上で実質的に可能な増産を予測することで、導入インパクトを評価した。

2. 材料と方法

2.1 対象地域概要

ブルキナファソ国農村部における「適切な衛生設備にアクセスできる人の割合」は、2008年報告の時点でも6%にすぎない⁷⁾。乳幼児死亡率は169人/出生1000人であり、その死因は、下痢症が19%を占める⁸⁾。ブルキナファソ国における衛生環境の改善は急務と言える。

本研究では、Ushijima ら⁹⁾が4世帯を対象に別途世帯調査を行ったZiniaré市が含まれるウブリテンガ県を検討対象とした (**Fig.1**)。同県は、人口約2,400,000のうち92%が農村部に暮らす典型的な農村地域である¹⁰⁾。総農地面積は183,000 haで、ミレット、ソルガム等の穀物の他、トマト、タマネギ等の野菜や、綿花の栽培が行

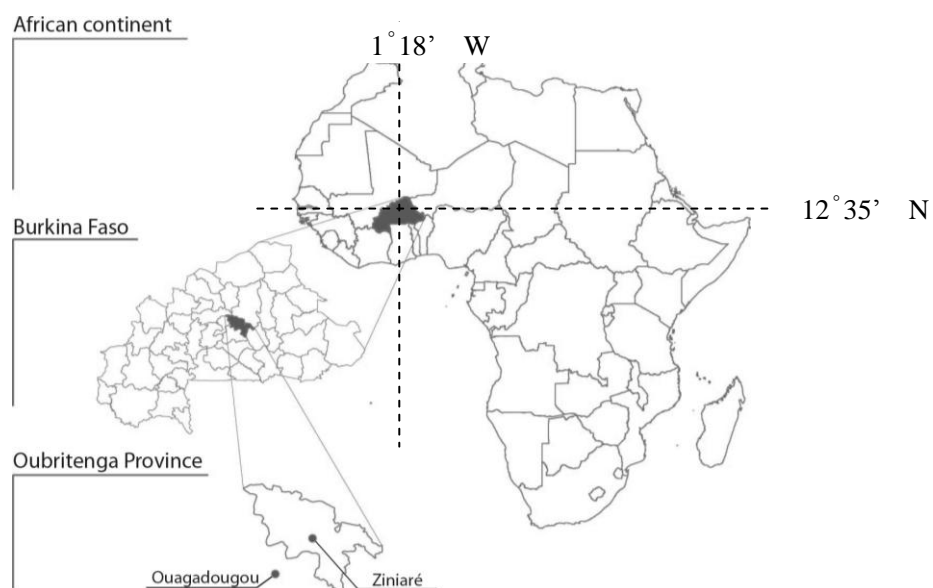


Fig.1 Location of Burkina Faso, Oubritenga Province, and Ziniaré.

われている¹⁰⁾。現地調査が行われた4世帯ではいずれも、天水のみで栽培可能な自家消費用の穀物畑と、灌漑を行う換金作物用の小規模な野菜畑を持っており、食糧は主に自家生産で賄い、換金作物の生産によって得た若干の収入で、追加の食材購入と子供の学費等のイレギュラーな出費に対応していた。

2.2 ポテンシャルリソースの分析方法

実際の農業生産に必要なかつコントロール可能なリソースは、大きく分けて、土地、水、肥料、労働力と言える。本研究では、このうちの水と肥料成分（窒素，リン，カリウム）について、要素別のマテリアルフロー分析すなわちサブスタンスフロー分析を行いポテンシャルの評価を行った。フローは年単位とし、水は体積(m³)で、窒素，リン，カリウムはそれぞれの元素重量 (kg-N, kg-P, kg-K) で整理した。サブスタンスフ

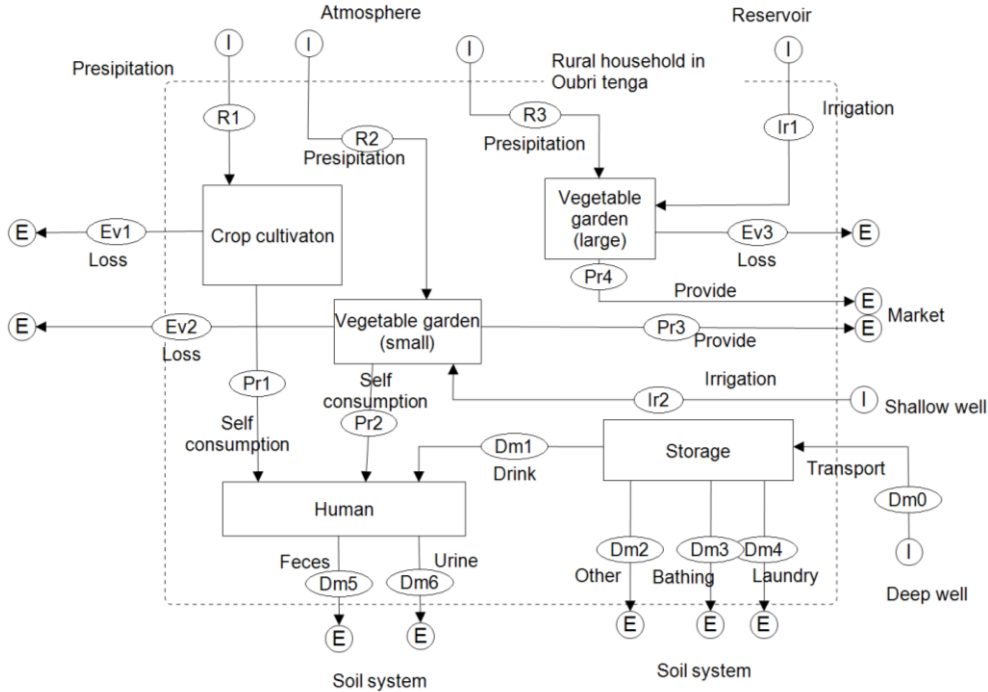


Fig.2 Structure of material flow model for water

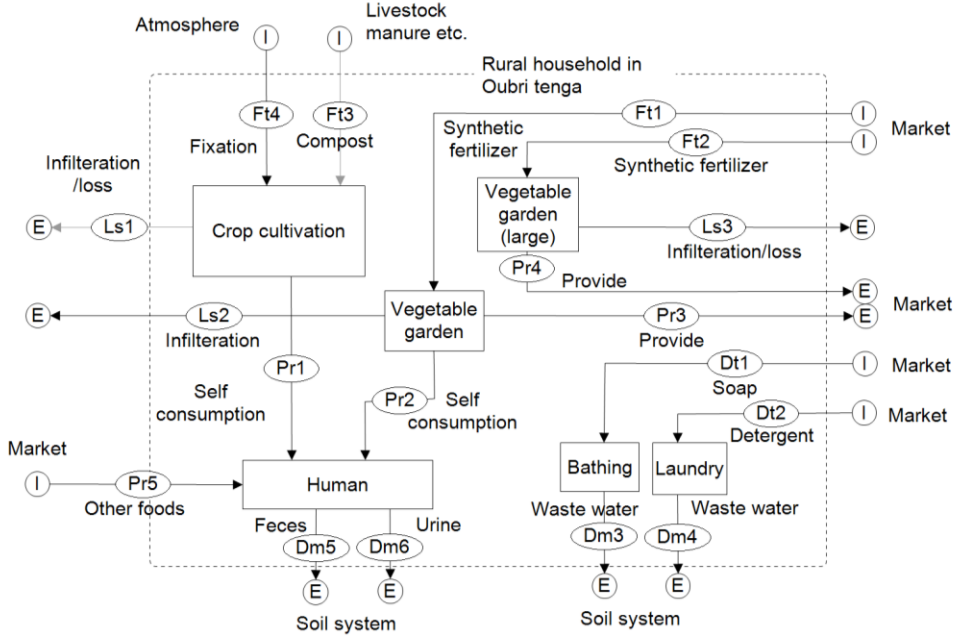


Fig.3 Structure of material flow model for nutrients

Table 1 Evaluation methods for water flow

	Evaluation methods
R1	Total area of crop field in the province ¹⁶⁾ ×Annual precipitation ¹⁴⁾ / Number of households in rural area ¹⁷⁾
R2	Area of small vegetable garden ⁹⁾ ×Annual precipitation ¹⁴⁾
R3	Total area of vegetable garden(large) ¹⁶⁾ ×Annual precipitation ¹⁴⁾ / Number of households in rural area ¹⁷⁾
Ir1	Assumed half year cultivation with 5 L/m ² /day ⁹⁾
Ir2	Assumed half year cultivation with 5 L/m ² /day ⁹⁾
Pr1	Water contents of crops ¹⁸⁾ ×Annual consumption ¹⁹⁾ ×Averaged number of household members ¹⁷⁾
Pr2	Water contents of vegetables ¹⁸⁾ ×Annual consumption ¹⁹⁾ ×Averaged number of household members ¹⁷⁾
Pr3	Water contents of vegetables ¹⁸⁾ ×U1 / Number of households in rural area ¹⁷⁾
Pr4	Water contents of vegetables ¹⁸⁾ ×U2 / Number of households in rural area ¹⁷⁾
U1	(vegetable production in the province ¹⁶⁾ + self consumption ¹⁹⁾) × (Total area of vegetable garden (large) ¹⁶⁾ / (Total area of vegetable garden (large) ¹⁶⁾ + Total area of vegetable garden (small) ⁹⁾)
U2	(vegetable production in the province ¹⁶⁾ + self consumption ¹⁹⁾) × (Total area of vegetable garden (small) ⁹⁾ / (Total area of vegetable garden (large) ¹⁶⁾ + Total area of vegetable garden (small) ⁹⁾) - self consumption ¹⁹⁾
Dm0	Average of interview results ⁹⁾
Dm1	(Dm6+Dm5)-(Pr1+Pr2)
Dm2	Dm0-(Dm1+Dm3+Dm4)
Dm3	Estimated from breakdown of water usage ⁹⁾ (45%)
Dm4	Estimated from breakdown of water usage ⁹⁾ (3-8%)
Dm5	Water contents in feces ²⁰⁾ ×Annual amount of feces ²¹⁾ × Averaged number of household members ¹⁷⁾
Dm6	Annual amount of urine ²¹⁾ × Averaged number of household members ¹⁷⁾
Ev1	R1 - Pr1
Ev2	R2 + Ir2 - (Pr2 + Pr3)
Ev3	R3 + Ir1 - Pr4

Table 2 Evaluation methods for nutrient flow

	Evaluation methods
F t 1	Fertilizer consumption in Burkina Faso ²²⁾ ×(area of vegetable garden (small)) / (area of total vegetable garden)÷ Number of households in rural area in Burkina Faso ¹⁷⁾
F t 2	Fertilizer consumption in Burkina Faso ²²⁾ ×(area of vegetable garden (large)) / (area of total vegetable garden)÷ Number of households in rural area in Burkina Faso ¹⁷⁾
F t 3	(Standard fertilizer use ²³⁾ × area of crop field ¹⁶⁾ - Ft4) × (harvest in Burkina Faso ²³⁾) / (harvest of world average ²³⁾)
F t 4	15~201 kg/ha ²⁴⁾ × area of cowpea cultivation ¹⁶⁾ ÷ Number of households in rural area ¹⁷⁾
Ls1	Ft3 + Ft4 - Pr1
Ls2	Ft1 - Pr2 - Pr3
Ls3	Ft2 - Pr4
Pr1	Nutrients contents in crops ²⁵⁾ ×Annual consumption ¹⁹⁾ × Averaged number of household members ¹⁷⁾
Pr2	Nutrients contents in vegetables ¹⁸⁾ ×Annual consumption ¹⁹⁾ × Averaged number of household members ¹⁷⁾
Pr3	Nutrients contents in crops ²⁵⁾ ×U1 / Number of households in rural area ¹⁷⁾
Pr4	Nutrients contents in crops ²⁵⁾ ×U2 / Number of households in rural area ¹⁷⁾
Pr5	(Dm5 + Dm6) - (Pr1 + Pr2)
Dt1	Assuming 10 g/day use. Nutrients contents were obtained by analysis on local soap
Dt2	Assuming 10 g/day use. Nutrients contents were obtained by analysis on local detergent
Dm3	Dt1
Dm4	Dt2
Dm5	Nutrient contents in feces ²⁰⁾ ×Annual amount of feces ²¹⁾ × Averaged number of household members ¹⁷⁾
Dm6	Nutrient contents in urine ²⁰⁾ ×Annual amount of urine ²¹⁾ × Averaged number of household members ¹⁷⁾

ロー分析のバウンダリーは農村世帯とし、フローの枠組は、Ushijimaら⁹⁾が行った現地調査の結果に基づいて Fig.2~3のように設定した。各フローは文献値および統計値をもとに、ウブリテンガ県の1世帯当たり平均の値として算出した。算出方法とデータソースをTable 1~2に示す。現時点で定量的な議論が難しかった土地、労働力およびその他の細かい項目については、別途、考察において評価に組み込んだ。

2.3 評価方法

分析の結果に基づき、まず各要素のポテンシャルリソースを実際の農業生産につなげるための枠組を提案した。そして、現地で可能な栽培方法を想定し、各要素の要求量から追加耕作可能面積をポテンシャルとして推定し、各要素間のバランス、制限要因について考察し、導入インパクトの評価を行った。

3. 結果

3.1 水のフロー

穀物畑への降雨による水供給は30,000 m³/世帯/年程度で、そのほとんどは地下浸透、流出、蒸発散によって失われていると考えられた (Fig.4)。これらは、他のいずれの水フローよりも100倍以上大きく、きわめて大きなリソースと言える。ただし、降雨の時期は雨季の3~4ヶ月に限られるため、利用可能な時期は限られる。次に大きな規模のフローとして、野菜畑への降雨および灌漑用水があり、いずれもおよそ50~70 m³/世帯/年の範囲であった。これに対し、現在捨てられている生活排水も、合計すると60 m³/世帯/年程度であった。生活排水の再利用によって穀物栽培を大幅に増やすことは難しいが、野菜栽培に対しては大きなインパクトが見込まれる。上記以外に、穀物畑および野菜畑へのインフローに匹敵する大きさのフローは認められなかった。

3.2 窒素のフロー

全体の中で、食品として人が利用し排泄するフローが大きいことがわかる (Fig.5)。野菜畑で使用される化成肥料は10~13 kg-N/世帯/年で、食品およびし尿のフローの1/3以下の値であった。なお、単一のフローとしては、家畜糞および収穫残さを原料とする穀物栽培への堆肥のインフローとその浸透流出成分が最も大きい。しかし、実際には家畜は収穫残さを主な飼料としており、内部循環している部分が多いと考えられる。この部分については利用可能なデータが無く、現時点では定量的な評価ができていない。

3.3 リンのフロー

窒素同様、食品として人が利用し排泄するフローが大きい (Fig.6)。これに対し、野菜畑で使用される化成肥料は2~2.5 kg/世帯/年で、食品およびし尿のフローとほぼ同等の値であった。

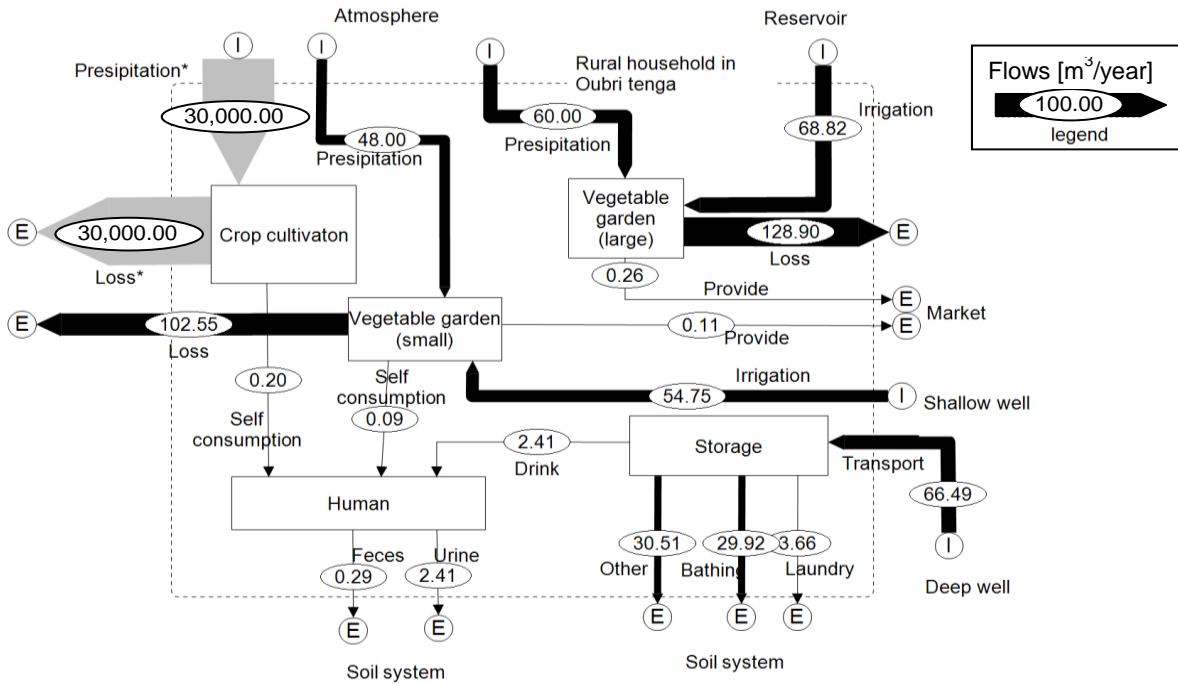
3.4 カリウムのフロー

窒素同様、食品として人が利用し排泄するフローが大きい (Fig.7)。これに対し、野菜畑で使用される化成肥料は3.8~4.8 kg/世帯/年で、食品およびし尿のフローとほぼ同等の値であった。

4. 考察

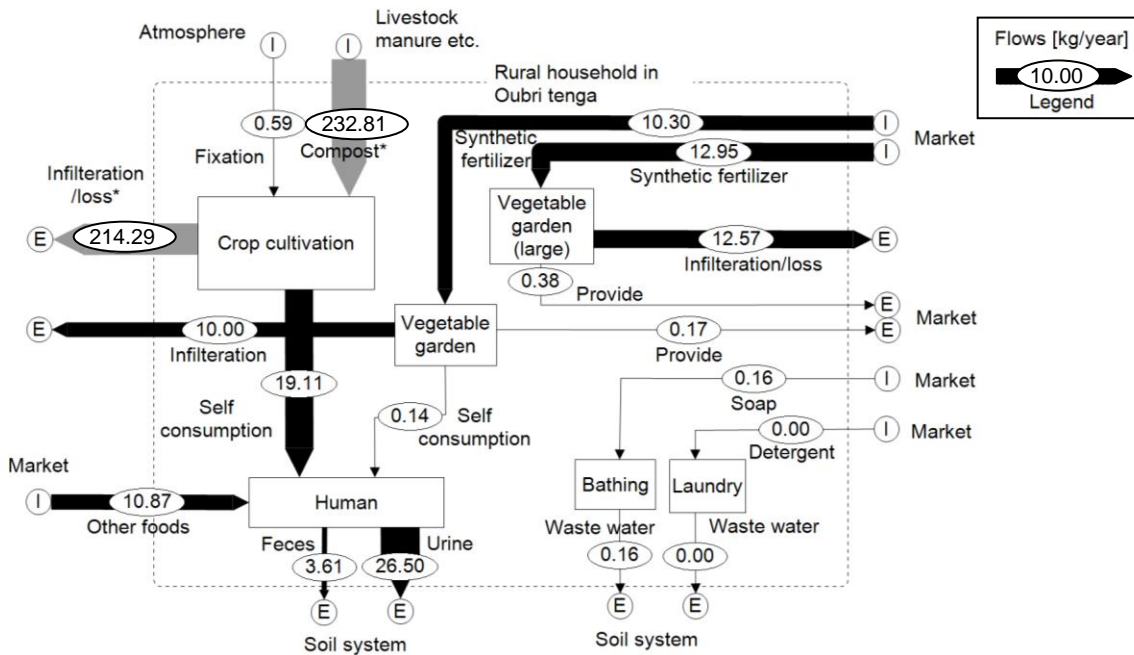
農村世帯のマテリアルフローにおいて、食品からし尿として排出されるフローが非常に大きな栄養塩ポテンシャルと考えられた。病原体をほとんど含まない尿はそのまま貯留し、糞便をコンポスト化によって安定させるシステム¹¹⁾を導入すると、これらの資源をほぼ100%農業に利用することができる。一方、水については、天水が極めて大きなフローではあるものの、対象地域の降雨は3~4か月の間に限られているため、穀物栽培が可能なのはこの短い雨季のみであり、8~9か月にわたる長い乾季の間はほとんどの穀物畑が利用不可能となる。結果、乾季の間は、水源に近い灌漑可能なごく限られた土地でのみ、野菜の栽培がおこなわれ、冒頭で述べたようにこの野菜生産が世帯にとって重要な現金収入となっている。よって、乾季にも安定して確保できる灌漑用水は極めて重要と言える。生活雑排水は、現状の灌漑用水とほぼ同等の量のフローであるが、現在はそのまま捨てられている。これを灌漑用水として活用する価値は大きい。し尿と分離された生活系排水であれば、たとえば傾斜土槽処理装置¹²⁾などの簡易の処理装置を用いて処理することで、灌漑用水として十分な水質を得られることが確認されている。

以上を踏まえ、実際の野菜栽培を想定し、糞便のコンポスト化、尿の肥料利用、および傾斜土槽による生活雑排水再利用を適用した場合に供給可能となる水、窒素、リン、カリウムの4つの農業資源それぞれについて、追加で耕作可能となるポテンシャルとしての面積の推定を行った (Fig.7)。作物は、換金性の高いト



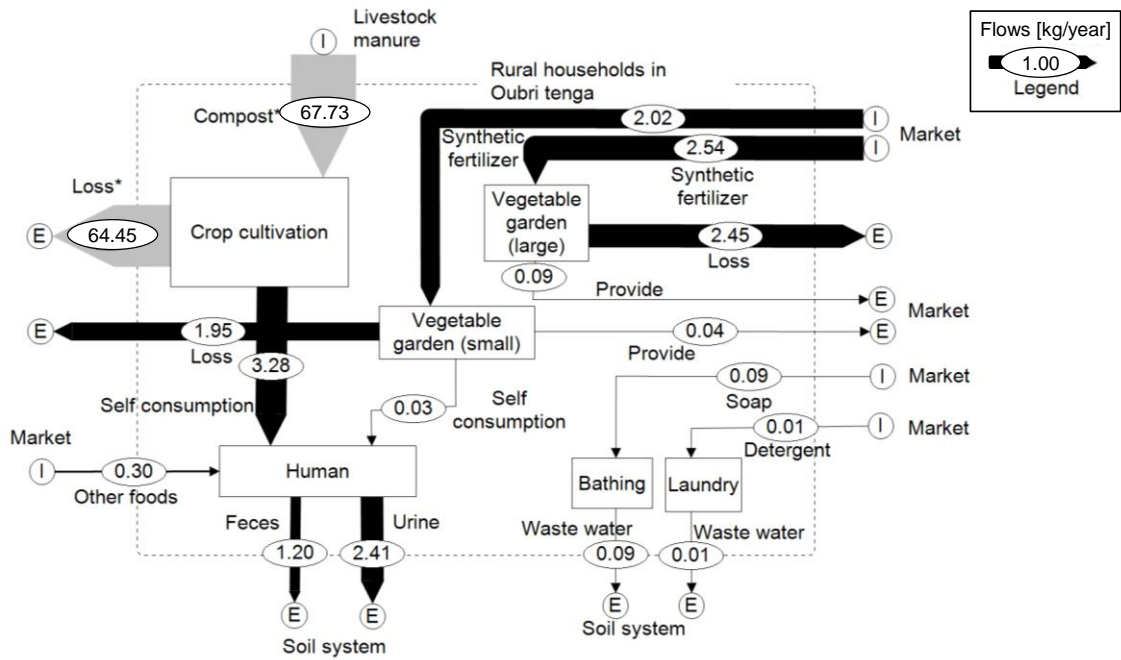
* Only "Presipitation" to crop cultivation and "Loss" from crop cultivation are drawn in 1/100 width because these two are too large to show in the same scale as other flows.

Fig.4 Water flow in rural households



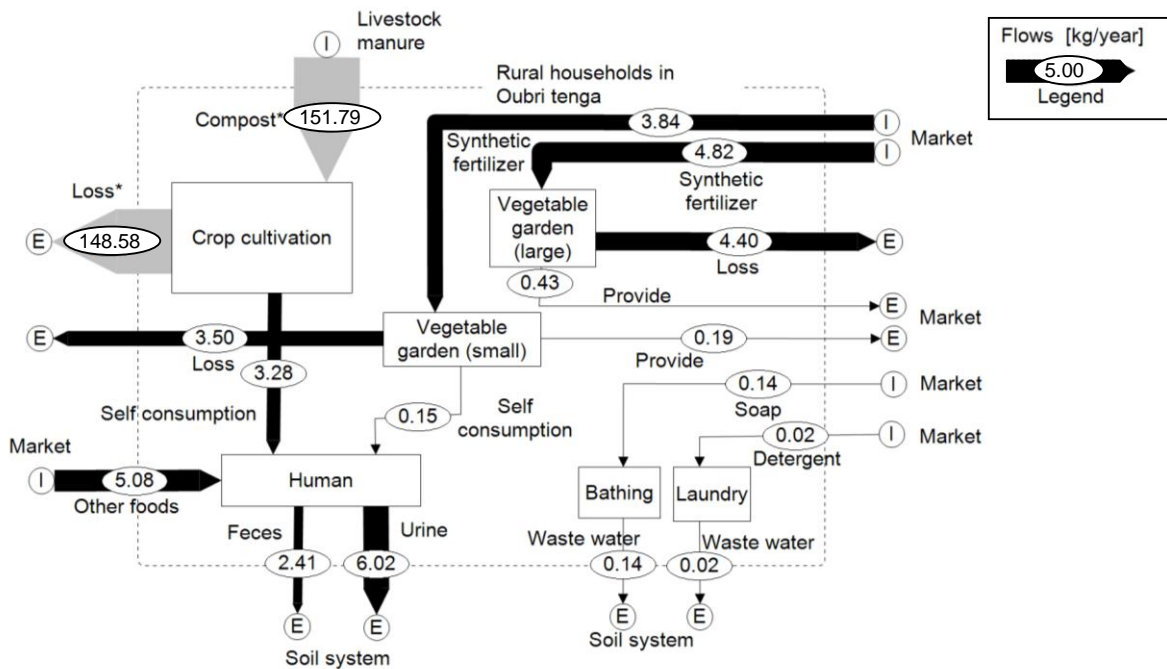
* Only "Compst" to crop cultivation and "Infiltration/Loss" from crop cultivation are drawn in 1/10 width because these two are too large to show in the same scale as other flows.

Fig.5 Nitrogen flow in rural households



* Only "Compst" to crop cultivation and "Loss" from crop cultivation are drawn in 1/10 width because these two are too large to show in the same scale as other flows.

Fig.6 Phosphorus flow in rural households



* Only "Compst" to crop cultivation and "Loss" from crop cultivation are drawn in 1/10 width because these two are too large to show in the same scale as other flows.

Fig.7 Potassium flow in rural households

マトを想定した。まず、FAOの灌漑用水量計算モデル¹³⁾に首都ワガドゥグの降雨量¹⁴⁾を当てはめて求め、単位面積当たりで必要となる灌漑用水量を求めた。そして、雑排水をすべて灌漑用水として再利用した際に耕作可能となるトマト耕作地の面積を推定した。窒素、リン、カリウムについては、日本のトマトに対する施肥基準¹⁵⁾をもとに、単位体積当たり必要量をそれぞれ249.0 kg-N/ha, 119.6 kg-P/ha, 212.5 kg-K/haと設定し、尿および糞便コンポストによって供給可能な窒素、リン、カリウムの量からそれぞれ耕作可能面積を推定した(Fig.8)。これらの値はあくまで各要素のポテンシャルであり、実際に耕作可能な面積は制限要因すなわち

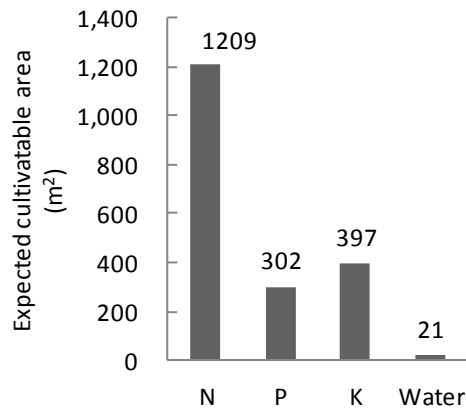


Fig.8 Expected cultivatable area by each element

各要素のうちの最小値で決まる。よってここでは、水が制限要因となっており、実際に追加耕作可能な面積は、21 m²/世帯に相当した。現状の野菜畑は平均で75 m²/世帯（統計上の野菜畑面積÷世帯数）であり、し尿および生活雑排水の循環利用によりおよそ3割の野菜の増収が期待される結果となった。

最もポテンシャルの大きかった窒素を1とすると、リン、カリウム、水のポテンシャルはそれぞれ、0.25、0.33、0.02となり、水の制限が非常に強いことがわかる。よって、本研究の対象地域のような半乾燥地においては、し尿および生活雑排水の資源を有効に利用するうえで、いかに水の制限を緩和するかが極めて重要と言える。ドリップ灌漑や、雨季の天水貯留などの技術と合わせて導入することで水の制限を緩和できれば、数字の上では、次にポテンシャルの低いリン供給が制限要因となる300 m²程度まで野菜畑を増やすことが可能である。なお、1世帯あたりの穀物畑面積の平均は約37,000 m²であり、乾季ならば追加の野菜栽培に供する土地も労働力も十分にあると期待される。

また、水、窒素、リン、カリウムのバランスで考えた際には、灌漑技術等によって水の制限を緩和したとしても、まだ7割程度の窒素が余ることが予想される。換金性とのバランスを見ながら、より窒素要求量の多い葉菜類を輪作体系に取り入れることも考えられる。余剰の窒素をさらに効果的に消費するためには、現在の化成肥料利用を尿で置き換えることや、窒素を多く含む尿を、水の制限の少ない地域に持ち出して使用することも考える必要があると思われる。ブルキナファソ国は、サハラ砂漠の縁に位置し、国内でも降雨量の多い地域と少ない地域の差が激しい。そしてウブリテンガ県はその中間に位置する。国全体の資源有効活用という観点からは、水の足りない地域のし尿を水のある地域へ移動させる方策も必要と思われる。これについては、ブルキナファソ国全体のマテリアルフローの評価に基づいて行われなければならない。

5. 結論

本研究では、農業とリンクした新しいし尿循環利用システムを設計し、その導入インパクトを正しく評価する方策として、水、栄養塩についてのサブスタンスフロー分析を行い、現状のフローの中で農業生産を高めるポテンシャルリソースがどこにどの程度存在しているのかを明らかにした。そして、それらのポテンシャルを農業生産につなげた場合について、実際の農業生産に必要なリソースの制限要因を考慮した上で実質的に追加可能な耕作可能面積を予測し、導入インパクトを評価した。

その結果、窒素、リン、カリウムの肥料成分としては、し尿の廃棄が、現在の化成肥料使用量と同等またはそれを上回るフローとして確認された。水については、利用可能な期間が3~4ヶ月に限られる降雨を除けば、主に乾季に使用される地下水や貯水池からの灌漑用水が主要なフローであり、これとほぼ同規模のフローである生活雑排水が、現状ではそのまま捨てられていることが明らかとなった。し尿および生活雑排水の再利用は、現状のマテリアルフローに大きなインパクトを与えることが示唆された。

換金作物の栽培を増やすことを想定し、窒素、リン、カリウム、水の4つのリソース各々について、単位面積当たりで作物が必要とする各リソースの量から逆算し、追加耕作可能な面積のポテンシャルを評価した。その結果、窒素のポテンシャルを1とした場合に、リン、カリウム、水のポテンシャルはそれぞれ0.25、0.33、

0.02となり、水供給の制限が非常に強くなることが予想された。ドリップ灌漑や雨水貯留などの技術と合わせて導入することが効果的と考えられた。また、水の制限が回避されても、なお窒素は過剰となると考えられることから、その効果的な使用に当たっては、窒素要求量の多い作物の栽培や、現状の化成肥料との置き換え、もっと降雨量の多い地域への持ち出しも含めて考える必要があると思われた。

謝辞

本研究はJST-JICA、JST-CRESTおよび科研費基盤研究Sの助成を受けて実施した。記して謝意を表す。

(原稿受付2012年7月14日，原稿受理2013年1月10日)

参考・引用文献

- 1) 斎藤政樹, 内澤旬子(1998): 東方見便録, 小学館, 301p.
- 2) Winblad, U., Simpson-Hebert, M. (2004): Ecological sanitation – revised and enlarged edition, Stockholm: SEI.
- 3) Lopez, Zavala, M., A., Funamizu, N., Takakuwa, T. (2001): Onsite wastewater differentiable treatment system: modeling approach, *Water Science and Technology*, Vol.46, No.6-7, pp.317-324.
- 4) 三俣延子(2008): 都市と農村がはぐくむ物質循環—近世京都における金銭的し尿取引の事例—, *経済学論叢*, vol.60, pp.259-282.
- 5) 楠本正康(1981): こやしと便所の生活史, ドメス出版, 202p.
- 6) 渡辺善次郎(1983): 都市と農村の間, 論叢社, 388p.
- 7) United Nations (2010): Millennium Development Goals Report 2010, United Nations Department of Economic and Social Affairs (DESA), New York, USA, 76p.
- 8) World Health Organization (2010): World Health Statistics 2010, World Health Organization, 177p.
- 9) Ushijima, K., Hijikata, N., Funamizu, N., Nabeshima, T., Hakoyama, F. (2010): Field Investigation for Designing Practical Sustainable Sanitation System -A Case Study in Burkina Faso-, *Proceedings of Tunisia Japan symposium, Regional development and water resource a new vision for sustainable society*, pp.207-211.
- 10) Statistiques agricoles du Burkina faso, <http://agristat.bf.tripod.com/> (参照: 2011/08/18).
- 11) Ushijima, K., Yabui, K., Hijikata, N., Ito, R. and Funamizu, N. (2011): Development of self-buildable simple composting toilet, *Proceedings of IWA aspire (USB-memory)*, Tokyo, Japan.
- 12) Ushijima, K., Ito, K., Ito, R., Funamizu, N. (2013): Graywater treatment by slanted soil system, *Ecological Engineering*, 50, pp.62-68.
- 13) FAO (2011). <http://www.fao.org/infood/Userdatatexttablescoversrevised.pdf> (参照: 2011/07/26)
- 14) Yahmed, D. B. (2005): Atlas du Burkina Faso, JAGUAR, 116p.
- 15) 金澤健二 (2009): 都道府県の施肥基準値及び堆肥の施用基準値のデータベース並びに作物の収穫物の栄養含有率のデータベースとその利用法, *中央農研研究報告*, Vol.12, pp.27-50.
- 16) Ministère de l'Agriculture et des Ressources Halieutiques du Burkina (2005): Direction Générale des Prévisions et des Statistiques Agricoles.
- 17) Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), 2006, <http://www.insd.bf/fr> (参照: 2011/08/10)
- 18) 食品成分データベース, <http://fooddb.jp/> (参照: 2012/05/22).
- 19) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2011. Food Supply 2005, <http://faostat.fao.org/site/610/DesktopDefault.aspx?PageID=610#ancor> (参照: 2011/08/23).
- 20) Lopez, Zavala, M.A., Funamizu, N. and Takakuwa, T. (2002): Characterization of feces for describing the aerobic biodegradation of feces. *J.Env.Sys.and Eng.*720, pp.99-105.
- 21) Maksimovic, C. and Tejada-Guibert, J. A. ed. (2003): *Frontiers in Urban Water Management Deadlock or Hope*, trans. Saburo Matsui et al., Gihodo shuppan, p.231.
- 22) Centrale d'Information Agro-Pastorale, (1999), *Les Intrants Agricoles au Burkina Faso*.
- 23) World resource institute (2003): *Earth trends: Agriculture and food-Burkina Faso*, 6p.
- 24) 角明夫, 森彩恵, 林琢二 (2011): 共生窒素固定に関連した数種マメ科作物における乾物生産量—蒸発散量関係の変化, *日本作物学会紀事*, Vol.80, No.2, pp.199-206.
- 25) United States Department of Agriculture: National Nutrient Database for Standard Reference, Release 24, National Agricultural Library (参照: 2012/05/22).