

ジャワ島の水汚染の背景としての 農業と農村の水利用の実態

—インドネシア・ボゴール県 Petir 村の事例—

宮浦理恵*†・林田まき**・横田健治***

(平成 25 年 8 月 22 日受付/平成 25 年 12 月 6 日受理)

要約：農業生産において農業資材の適正レベルの使用は環境負荷を低減させるための基本原則であるが、途上国における小規模集約的農業においては過剰な肥料や飼料の投入が散見される。特に、標高の高い地域での農業は、低地に居住する人々の生活の質 (QOL) を守り生態系を保全するためにも、水質へのインパクトを最小限に抑えなければならない。本稿は、農生態学的視点で、農業が内包する環境負荷の側面を農村レベルで把握するため、インドネシア、ジャワ島西部の標高 500 m 付近に位置するボゴール県 Petir 村を調査地とし、農業の中でもより水汚染の原因となりうる畜産と養魚および農村での水利用の実態を明らかにすることを目的とした。

Petir 村の衛生設備の敷設状況は、上下水道が完備されておらず、全世帯の 57% は湧水池から引き込む水を利用し、37% が井戸を利用していた。6 割以上は家庭に私設トイレがなく、共同の場所を利用している。生活排水として推計 104 kg/ha/年の窒素が灌漑水路や河川にそのまま流出していた。畜産は、農家の裏庭で数頭の緬山羊が舎飼いされているほか、在来鶏に加え、アヒル等の水禽が数から十数羽放飼されている。サツマイモの茎葉をやぎに給餌した場合、79% の窒素が残餌と糞によって未利用資源となる。内水面漁業では、平均約 110 m² の池を田畑の間に作り、コイ、グラメ、ティラピアなどを養殖している。養殖開始時に鶏糞堆肥を投入して魚の餌となる藻を発生させ、その後餌用ペレット、作物の茎葉を養殖池に投入して 1 年以内で 1 サイクル完結させる。養殖用の水は灌漑水路から引きこみ、1 か月に一度池の水を水路に排出させる。投与された窒素分のうちの 23% しか魚に利用されないため、残りは排水・土壌に流出しており、ボゴール県における養魚による窒素排出は 3,260 t と推計された。

標高の高い地域での農業と生活排水による水汚染が少しでも緩和されるように、系内に存在する生活排水や畜産、養殖からの窒素を耕種部門にうまく取り込めるよう、飼料の改善や適正技術の普及が課題となった。外的投入資材の利用を低減し、未利用の地域資源の有効活用が図れるよう農業生態系内での循環が機能するようなアグロエコロジー (農生態学) 的に安定した統合的ファーミングシステムの推進が必要である。

キーワード：統合的ファーミングシステム、アグロエコロジー、内水面漁業、生活排水、窒素排出

第 1 節 はじめに

近代農業システムにおいて農業生産活動が集約化すると、農業生態系外からの外的資材の投入が増えると同時に、生物生産に用いられなかった物質が系外に流出したり、系内に蓄積していく。農業が及ぼす環境負荷を軽減させるには、適正レベルで資材を投入することが大原則であるが、途上国の小規模農家による集約的農業では適正量が周知されず、必要以上の肥料や飼料が投入される場合もある。イ

ンドネシア、西ジャワ州ボゴール地域は、年間降水量が 3,775 mm (Dramaga) で¹⁾、中央部にいくつもの山地があるため、山岳地帯の降雨が集まって河川となり、途中の農業地帯を経て比較的短い距離で巨大な人口を抱える首都ジャカルタ近郊へと流れていく。雨季には低地で洪水が起こることも少なくなく、標高の高い地域での水質を保全することは、低地の人口稠密地域で生活する人々の健康を守り生態系の攪乱を防止するためにも重要な課題となる。特にジャカルタでは多様な水利用方法がとられ²⁾、上下水設備

* 東京農業大学国際食料情報学部国際バイオビジネス学科

** 東京農業大学短期大学部生物生産技術学科

*** 東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科

† Corresponding author (E-mail : mia@nodai.ac.jp)

注) 本研究は、東京農業大学総合研究所プロジェクト研究 (Action Research on Promoting Sustainable Development of Local Agriculture in Southeast Asia : Case of Indonesia, 研究代表者 馬場正, 2010-2012 年度) の一部として実施した。

が十分に整っていない地域に居住する人もおり、河川の水や地下水を生活用水として利用しているケースもある。農業活動が周辺環境へのインパクトを最小限に抑えつつ継続できることが、地域の持続的発展に欠くことのできない要件である。

水質汚染の原因として主として挙げられるのは農業と人間活動で生じる生活排水である³⁾。作物栽培における過剰な施肥が地下水や表層水の窒素汚染を引き起こすことはよく知られているが⁴⁾、畜産や養殖漁業においては、化学的成分のみならず、有機性廃棄物に由来する病原菌や飼養で用いられた薬剤が混入することで周辺環境や人体に及ぼす危険性も生じる。また、途上国では、農村地帯での下水道の敷設が大きな課題となっているが、個人の負担での整備は実質的に不可能で、多くの場合、生活排水が処理されずに河川やため池などで自然浄化させている^{5,6)}。このように、農業や農村生活に起因する水環境の汚染は、特定地域における実態の把握が前提となり、それに応じて適正な農業技術の普及や環境意識の啓蒙活動につなげていく必要がある。

本研究は、地域農業の安定的発展を究極の目的として、小規模農家の経営を向上させることで貧困の解消が可能になるよう、地域特産品の作出を軸とした多様な農業の展開を目指した研究プロジェクトの一環として行った。地域農業が発展していくには、営農における経営の維持安定とともに生物生産の基盤となる農生態系の安定が前提となる。生態系の安定を求める際には、特定の生態的階層すなわち農業地域を対象として系内の物質循環とエネルギーの流れの実態評価を行うことが肝要である。農業生態系では、特に系外からの投入（農薬や肥料・飼料などの資材）と、農畜産物の系外への持ち出し（収穫後の流通・販売）が進んでおり⁷⁾、特に商品作物栽培や畜産・養魚など自給を目的としない生産においては、この物質収支が大きく崩れ、地域内に過剰な物質の滞留が起こったり、系外への持ち出しが大きすぎたりということが起こる。

本研究プロジェクトでは、地域農業発展を目的とした調査村の選定をすでに行っている⁸⁾。貧困率が高く農業が主体であるが、多様なファームシステムが存在していることから地域特産品の開発により農業多様化への展開が可能とみなされるボゴール県 Petir 村を調査対象村とした。

さらに、Petir 村の立地環境と村内の社会経済の解明を行い、複数の町内会からなるグループングで、村落内の格差が生じていることが分かっている⁹⁾。本稿は、これまでの実態調査で浮き彫りになってきた、標高 500m 付近に位置する調査対象村の生活と農業活動が及ぼす下流地域へのインパクトの大きさを、畜産と養魚および上下水整備の3点からアグロエコロジー（農生態学）の視点で整理することを目的とした。

本研究の方法は、2011年9月（乾季）、11月（雨季のはじめ）および2012年3月（雨季）に計3回現地実態調査を実施した。Petir 村長および農民グループの代表者から当村の農業概況についてヒアリング調査を行ったうえで、村内全体の自然立地環境を車窓観察し、数か所において集中的に圃場や飼育場、養殖池での計測や農民からの聞き取り調査を行った。物質収支については既往文献から現地の実態を推計する方法を採用した。

本稿の構成は次のとおりである。第2節で、Petir 村の衛生設備の敷設状況について整理する。第3節で、ボゴール県の畜産の様相と Petir 村での実態を述べる。第4節で、ボゴール県の内水面漁業の様相と村での養魚の方法について

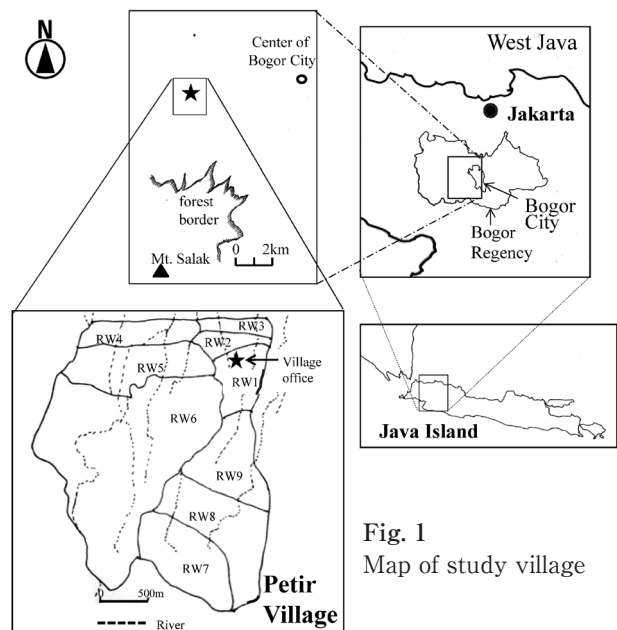


Fig. 1
Map of study village

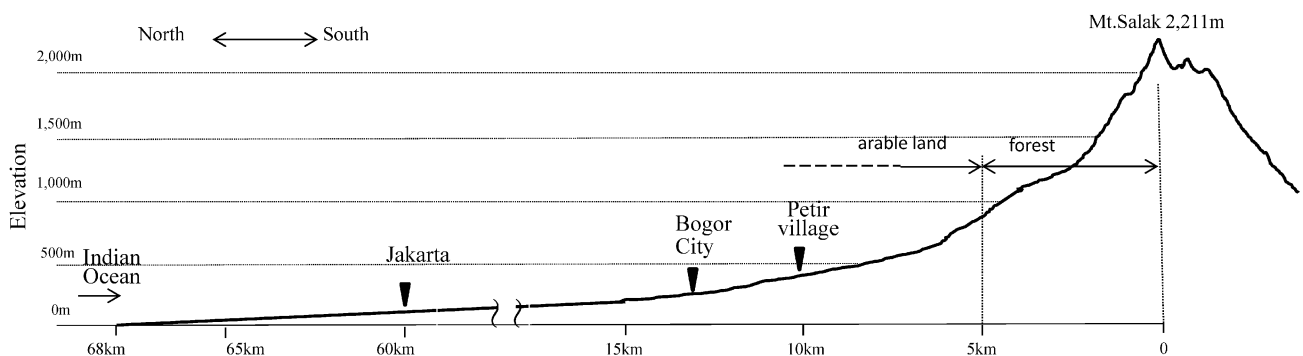


Fig. 2 Vertical sectional view from Mt. Salak through Petir Village, Bogor and Jakarta to Indian Ocean

て述べる。第5節は、作物栽培と畜産、養魚を統合したファームシステム創出のための実態把握と課題の整理を行う。第6節はまとめである。

第2節 村の概況と衛生設備

調査地の概況

ボゴール県 Petir 村 (Desa Petir, Kabupaten Bogor ; Petir Village, Bogor Regency) は、西ジャワ州の西方にある標高 2,211m のサラク山 (Mt. Salak) 山頂から北方に約 10 km 下った標高約 310~450 m に位置する (Fig. 1)。山頂から北方 68 km でジャワ海に達するが、その途中の約 13 km 地点にボゴール市、60 km 付近に首都ジャカルタがある (Fig. 2)。山頂から 5 km ほど下がった標高 900 m 付近までは森林で覆われているが、それ以下の土地は農耕地等に開発されている。サラク山の北側斜面では山頂から 8 km ほど下がった地点で湧水が多くみられ複数の河川が形成され、下流部で農業用水のみならず生活用水としても利用されている。

Petir 村の起源に関する聞き取り調査によると、200 年以上昔、森と草地 (アランアラン) の茂る原野地域だった当地へ南方の Dramaga からの移住者が開拓・定住して当村を形成してきたといわれている。総面積は 448 ha で、地目別には、耕地 (水田) 210 ha (47%), 非農耕地 190 ha (42%), 屋敷地 20 ha (4%), 貯水池 16 ha (4%) およびその他となっている。総人口は 12,850 人、総世帯数 3,160 戸で、一戸当たり平均家族数は 4.1 人である。世帯主の職業別に検討すると、全体の 46.2% にあたる 1,700 戸が農業労働者、568 戸 (15.4%) が農家であり、6 割以上が農業に従事していることがわかる。経済状況は、1 か月当たり 170 万ルピア (約 15,000 円) 未満の世帯が半数近くを占めるなど、当村の所得水準は全体的に低い。

衛生設備の敷設状況

村内における上水道とトイレ・浴場の整備状況を Table 1 に示した。この村には、公共上下水道は敷設されておらず、取水には 3 つの方法がある。上流地帯からの灌漑用水路、河川および山からの水がわき出てくる湧水である。住民は、山からの湧水が最もきれいであると認識しており、共同で管理・利用されている。

上水の摂取について、全世帯の 57.8% は湧水池から引き込む水を利用し、37.3% が井戸を利用している。RW6 (Rukun Warga 町内会の意味) と RW7 は、民間水道会社 (BPABD) の管水路が通っており、4.9% の世帯がその上水道を利用している。とくに、RW4、5 および 8 では全世帯の 70% 以上が湧水池を利用し、RW1、2 および 3 では井戸利用の比率が高い。すなわち、当村の北東部に位置する 3 つの RW 以外は、湧水池からの水供給に生活用水を依存していることがわかる。

家にトイレがある世帯は、平均 38.2% で、6 割は共同の場所を利用している。共同利用率が高いのは RW4 で 78.1%、RW8 で 77.7% であった。下水整備は村内にないので、浄化処理することなく農業用水路や河川に生活排水が流入

Table 1 Proportions of households according to water facility in the study village

RW (Hamlet)	No. of Facilities	Sources of clean water			Sanitary facility	
		BPABD ¹⁾	Well	Spring	Private	Communal
1	361		53.2	46.8	46.8	53.2
2	478		49.8	50.2	44.1	55.9
3	347		57.1	42.9	53.3	46.7
4	351		21.1	78.9	21.9	78.1
5	306		26.5	73.5	24.2	75.8
6	554	18.6	34.1	47.3	47.5	52.5
7	231	22.5	16.5	61.0	35.1	64.9
8	296		25.3	74.7	22.3	77.7
9	242		40.1	59.9	33.9	66.1
Overall (HHs) ²⁾	3,166	155	1,182	1,829	1,208	1,958
%	100.0	4.9	37.3	57.8	38.2	61.8

Source: Data Potensi Desa/Kelurahan, Desa Petir, Kecamatan Darmaga, Bogor, 2010

Note: 1) BPABD refers to the private company for water supply. 2)

Total number of households (3,166) in this table differs from that of other village statistics which note 3,160.

し、水質を悪化させることになる。

日本における生活排水の水量と汚濁負荷量から¹⁰⁾、Petir 村における水汚染の推計を行うと以下のとおりとなる。1 日 1 人当たりの生活排水すなわちし尿 (便所) と生活雑排水の合計は 200 リットルで、最も多いのは風呂の 60 リットル、つづいて便所 50 リットル、洗濯 40 リットルである。インドネシアでは、日本のような風呂形態はないが、熱帯環境下にあつて 1 日に何度も水浴びをするほか、イスラムのお祈りの前には顔や手足の洗浄を行うため日本の平均値を当てはめても差し障りないと考えられる。この排水には BOD (生物化学的酸素要求量) 40 g/人日 (うち 32.5% は便所から)、窒素 10 g/人日 (同 80%)、リン 1.0 g/人日 (同 80%) を含有している。Petir 村の人口と面積で換算すると、1 ha 当たり 104 kg の窒素と 10.4 kg のリンが環境中に排出されていると試算できる。

第3節 畜産の実態

ボゴール地域における畜産の実態

調査村が属する地域の畜産状況を把握するために、ボゴール県の統計資料を整理する。Table 2 に、ボゴール県における 2005~2010 年の各家畜・家禽の飼養個体数の変化を示した。家畜で最も飼養頭数が多いのはヒツジで、2005 年の 22 万頭が、2010 年には 28 万頭と 27% 増加している。ヤギはヒツジの半数以下で 2010 年に 11.9 万頭である。大型家畜では、伝統的に水田耕作に用いられてきた水牛の頭数が減少傾向にあり、逆に乳牛の頭数が増加している。しかし、実数では水牛が多く約 2 万頭、肉牛 1.8 万頭で乳牛は 7 千頭である。

飼養個体数の増加率が最も高いのはブロイラー (肉専用鶏) で、2005 年の 825 万羽から 1,577 万羽と 5 年間で 90% 増加した。イスラム教徒の多い西ジャワ州では、ニワトリが価格も手ごろなため塩魚に代わって最も容易に摂取できる蛋白源として消費されるようになり、近年飛躍的に企業の養鶏が増加している。これはインドネシア全体の傾向で

Table 2 Changes in Livestock Population in Bogor Regency 2005-2010

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Large animal						
Water buffalo	21,434 100%	21,288 99%	16,662 78%	17,710 83%	17,867 83%	19,908 93%
Beef cattle	16,622 100%	14,831 89%	17,502 105%	18,196 109%	17,472 105%	18,068 109%
Dairy cattle	5,435 100%	5,123 94%	5,268 97%	5,907 109%	7,131 131%	7,288 134%
Small animal						
Sheep	220,467 100%	229,012 104%	223,253 101%	221,149 100%	278,608 126%	280,798 127%
Goat	120,255 100%	122,064 102%	117,386 98%	106,787 89%	114,732 95%	119,337 99%
Poultry						
Broiler	8,257,900 100%	11,864,000 144%	12,756,300 154%	13,775,475 167%	14,363,496 174%	15,771,780 191%
Local chicken	1,233,467 100%	1,201,644 97%	1,007,202 82%	986,348 80%	1,009,186 82%	1,318,299 107%
Layer	3,045,200 100%	3,533,007 116%	3,791,836 125%	3,933,002 129%	4,365,494 143%	4,371,042 144%
Duck	136,018 100%	241,299 177%	150,986 111%	128,197 94%	133,667 98%	137,009 101%

Source : Municipal Government of Bogor Regency, Agency of Livestock & Fishery 2010

あるともいえる⁹⁾。

ボゴール県の中心部に位置するボゴール市の統計をもとに前報⁹⁾で明らかにしたが、各戸での家畜飼育は、緬山羊が4~5頭、家禽(在来鶏)20羽というのが平均規模である。

Petir 村の家畜および家禽の飼養状況

Petir 村における家畜・家禽の飼養個体数の実態は今後の詳細な実態解明が必要であるが、現地調査から家畜飼養農家戸数は多くなく、各飼養農家における飼養頭数も少ないことがわかった。熱帯・亜熱帯の多くの地域に見られるような家畜の放牧や繋牧は認められず、畑の食害を防ぐため農家の裏庭で数頭の緬山羊が舎飼いされている。一方、家禽は多く見られ、在来鶏に加え、アヒル、バリケン、ガチョウ等の水禽が数~十羽放飼されている。

ボゴール県の在来緬山羊としては、ヤギでは小型のマメヤギ(Kacang goat)と大型のジャワヤギ(Java goat)の2品種、ヒツジでは小型緬羊(Javanese thin-tail sheep)、脂尾羊(Javanese fat-tail sheep)、大型で産子数の多いガルット羊(Garut sheep)の3品種が主に肉用に飼養されている。村内では、地域によって飼料として利用できる植物種が異なることから、緬山羊の飼育頭数も異なる。すなわち、ヒツジを多く飼養する地域では、主に小型緬羊とジャワヤギを飼養しており、季節に応じて圃場副産物を青刈り(生)で給与し、牧草や高価な濃厚飼料はほとんど給与しない。一方、ヤギの多い地域ではヤギ生産に比較的積極的に、農業副産物の他にジャックフルーツやバナナの葉を給与し、濃厚飼料を給与することもある。また、他の地域では、雄子羊を買い付け半年ほど飼育して出荷する20~25頭規模の肥育専用農家もある。

緬山羊の一般的な飼育施設は高床式の木製小屋であり、柵で1~数頭ずつを繋留できる数か所の区画に仕切られている。各区画は狭く1頭あたり1m²未満のものもある。

ドアがないため動物の出し入れは稀であり、外に草架が取り付けられ、柵からは動物の頭部のみが出る。天井が低く、大きな屋根で日光が遮られることから飼育小屋内は薄暗く、スノコ式の床下に掘られた穴に糞尿が貯留されるため、湿度が高く、カビと寄生虫の発生がみられ、緬山羊の飼育環境は必ずしも衛生的ではない。

Petir 村の位置するボゴール地域は、4~9月の乾季の6か月間でも降水量が1,670mmで、雨季の6か月間の2,002mmと比べて若干少ないが、年間を通じて豊富な降雨がある¹⁾。このため、乾季でも植物が豊富に存在することから、緬山羊への基礎飼料の給与は年間を通じて可能である。給与飼料は、野草や圃場副産物等の季節ごとに手に入る植物が主体で、農作業の際に刈った植物を夕方(1日1回)のみ草架に入れて給与する。調査に訪れた9月はサツマイモの収穫期であったため、多くの農家でサツマイモの茎葉を緬山羊に給与していた。栄養価の高いイネ科牧草を給与することはなく、飼料の栽培は行われていない。周囲にマメ科の木本や雑草があるものの、窒素含量の多いこれらの茎葉も給与されず、米ぬか等の穀物残査も給与されていない。

また、飼育小屋内に水と食塩が設置されておらず、動物の食欲の低下した時に食塩水を給与植物に降りかけて塩分を摂取させるとのことであった。これらのことから、飼料摂取量や増体量、繁殖成績が慢性的に低い可能性がある。

調査村における小規模農家の緬山羊飼育事例

緬山羊を飼養している農家を対象に飼養頭数を調査し、ヒツジ(雌3頭および雄1頭)の体重および体尺を測定した。体重はヒツジを袋に入れて手秤で測定した。体尺測定においては、き甲から地面までの垂直距離を体高、肩端から坐骨端までの斜体長を体長とし、巻尺で測定した(Table 3)。

調査に訪れた13戸の小規模農家では、8戸でヒツジ3~10頭(平均5.6頭)、7戸でヤギ3~7頭(平均5.3頭)が飼

養されていた。ポゴール農科大学から譲渡されたヒツジ(体重 30.3 kg の雄) もいた。観察したヒツジはガルト羊 1 頭を除いて全て小型緬羊であり、ヤギは全てジャワヤギであった。いずれも耳が立ち、動きが機敏で食欲もあり、脱毛や軟便はみられなかった。十分に肥育されているわけではないが、顕著な病的症状も認められず、現状では最低限の生産はできている。

体重を測定した雌羊 3 頭 (体重 19.8 kg) には、サツマイモ茎葉主体の植物 (約 37 kg ; 1 頭あたり約 12.3 kg) が給与されていた。日本標準飼料成分表によると¹¹⁾、サツマイモ茎葉には水分および蛋白質がそれぞれ 87.2% および 1.7% 含まれるため、1 頭あたり約 1.6 kg (体重の 8.0%) の乾物と 209.7 g の蛋白質 (窒素 16% ; 33.5 g) が給与されていたことになる。一般に反芻家畜の乾物要求日量が体重の 2~3% であることから¹²⁾、体重 19.8 kg のヒツジには 0.4~0.6 kg の乾物 (3.1~4.7 kg の生草) を給与すれば良い。その際、例えば生のサツマイモ茎葉 4.0 kg (体重の 2.6%) には蛋白質 68.0 g (窒素 10.9 g) が含まれる。サツマイモ茎葉のみが給与されると仮定すると、茎部の残餌が多い (7.6~9.2 kg) としても、ヒツジの乾物要求量は十分に満たされると考えられた。しかし肥えた個体がないことと

飼育環境を考えると、必ずしも栄養状態が優れているとは考え難い。したがって、タンパク質やミネラル等を豊富に含む飼料の利用による生産性の向上が必要とされる。

日本標準飼料成分表によると、サツマイモ茎葉のウシにおける蛋白質消化率は 65% であり、摂取させた蛋白質の 35% が糞中に排出されることになる¹¹⁾。ヒツジに 68.0 g の蛋白質を摂取させた場合には、44.2 g (窒素 7.0 g) が消化され、糞中に 23.8 g (窒素 3.8 g) が排出されると考えられる。残餌 8.3 kg に蛋白質 141.7 g (窒素 22.7 g) が含まれることを考え合わせると、ヒツジ 1 頭に対して 12.3 kg のサツマイモ茎葉を給与した場合、残餌および糞として窒素 26.5 g が排出されることになる。さらに尿に窒素が含まれることから、窒素の排出量はさらに多い。したがって、このような飼育方法においては、ヒツジに必要な量の 3 倍程度のサツマイモ茎葉 (窒素 33.5 g) を給与する結果、給与窒素のうち 7.0 g は消化されるものの、少なくとも 1 日に 26.5 g が排出されることになる。これにより、給与した窒素分の約 8 割が残餌と糞として残されることが明らかとなった。

一方、SODIQ と TAWFIK の報告によると¹³⁾、雄の小型緬羊は、単子の場合、離乳時の体重が 10.0 kg で、栄養状態が良ければ成体で 36.7 kg になる。奥村と田中によると¹⁴⁾、羊体の 16% を蛋白質が占めることから、体重 10.0 kg および 36.7 kg のヒツジの体を構成する蛋白質はそれぞれ 1.6 kg および 5.87 kg であり、1 年余りの飼育期間中に 4.27 kg の蛋白質 (窒素 0.68 kg) が増加することになる。1 日あたり窒素 7.0 g をヒツジに消化させるために、33.5 g を給与し 26.5 g を排出させると仮定すると、1 年間では、給与する 12.2 kg の窒素のうち 2.6 kg がヒツジに消化され、9.7 kg が糞中に排出される。消化された窒素も代謝され、尿や皮膚、毛、汗等の形で排出されるため、最終的に羊体に 0.68 kg

Table 3 Average body size and estimated volume of forage requirement of local sheep

Sex	No. of sheep measured	Body weight (kg)	Withers height (cm)	Body length (cm)	Dry matter requirement (kg/day)	Fresh forage requirement (kg/day)
Female	3	19.8	50.5	33.7	0.6	4.7
Male	1	30.3	60.0	44.0	0.9	7.0

Source: Field survey in 2011

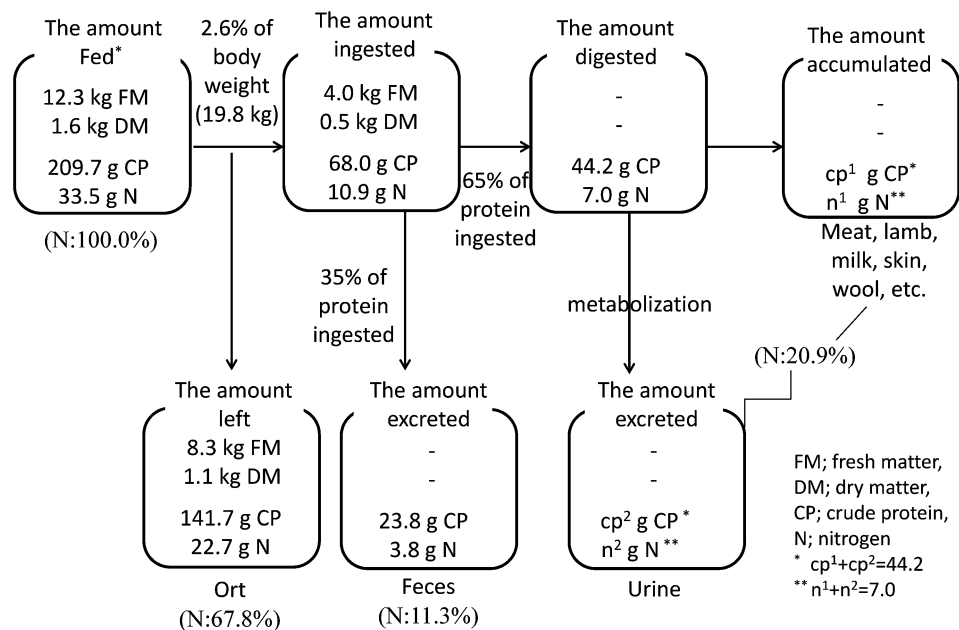


Fig. 3 Estimation of nitrogen valence for sheep production in Petir village
 * Mainly fresh stems and leaves of sweet potato after harvest

の窒素が蓄積する。以上のことから、給餌方法や飼料の改良によって残餌、糞および尿を減少させるとともに、これらの低利用資源を堆肥化して有効利用するシステムの構築が必要である。

つぎに、RW7のパスル・アンドン (Pasir Andong, 標高413m) で、緬山羊 (ガルット羊およびジャワヤギ) の大規模飼育 (舎飼い) を行っている農場の事例を述べる。カロマ・アバディ畜産農場会社 (CV. Karomah Abadi Farm/Rumah Domba-Karomah Abadi Farm ; KAFA) で、西ジャワのバンドン地域で普及しているコロニーシステムを採用している。すなわち、購入した子羊を3か月で30kgまでに、さらに2.5か月かけて10kg増体させることを目指した飼育経営で、8か月齢から雌雄ともに繁殖に用い、それ以外の雄は肉用に販売する方式である。この飼育にかかるコストは一日一頭当たり約2,500ルピア (約25円) である。2009年に当農場を開設し、2010年の1年間で300頭の緬山羊を販売した実績を持つ。調査時点で50頭のジャワヤギを飼育していたが、約300頭まで飼育可能であるという。所有農地0.9haと借地0.6haを加えて、農場規模は1.5haであった。通常の飼育管理作業は3人で行っており、インターネットのホームページやFacebookサイトを活用したPetir村では他に類を見ない先進的な営業活動も行っている。

当農場は小規模農家と異なり特異的な飼育技術を導入していた。まず、餌は朝夕、生の牧草および村内の豆腐屋のおからを混ぜて給与する。与える草はJukut BHと呼ばれる農場内に植栽している熱帯多年生イネ科牧草 (*Brachiaria humidicola*) で、月1回ペースで窒素肥料を施用して肥培管理している。この牧草は、ボゴール農科大学から譲り受けたもので、0.4haで100頭のヒツジを賄う生産量といわれていた。また、健康管理として月1回程度、自家製のジャヌット (janut) と呼ばれる栄養液、すなわち、ルンクアス (*Alpinia galanga* ショウガ科多年草) とウコン (*Curcuma longa* ショウガ科多年草) のしぼり汁とトラシ (調理に使う魚原料の固形発酵調味料) を混ぜた液を1頭当たり500ml与えている。さらに、月1回は屋外に出して体を洗い、乾かすようにしている。以上のように興味深い技術が観察されたが、これらの飼育成果への影響評価は今後の課題である。

第4節 内水面漁業の実態

ボゴール地域の内水面漁業と窒素収支

インドネシアにおける淡水魚の養殖は、オランダ植民地時代の19世紀中ごろにさかのぼり、西ジャワの屋敷地の池で行われていたコイの養殖に端を発するといわれる¹⁵⁾。その後、20世紀初頭にジャワ島の他の地域やスマトラ、スラウェシなどに広がり、1970年代に養殖技術の革新により急激に発展した。

海に接していないボゴール県の内水面漁業の2009年と2010年の種類別漁獲量をTable 4に示した。1年で総漁獲量は25%増えて3.6万tとなったが、増加量分の9割は漁獲量第1位のナマズによるものである。ナマズは全体の6割以上を占め、1年で135%の増加となっている。次に多いのは、インドネシア語でイカンマスと呼ばれるコイ (*Cyprinus carpio*) で約10%、続いてグラメ (*Osphronemus goramy*) とニラと呼ばれるナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*) がそれぞれ約5%である。第5位のクロアジモドキ (*Parastromateus niger*) は、アジ科クロアジモドキ属の海の魚であるが、淡水魚と同様に養殖されている。いずれも、上位に位置する魚種は前年比で増加しているが、漁獲量の少ない魚種はさらに減少しており、主要な魚への集中がうかがえる。

次に、ボゴール県の養殖方法別の面積をTable 5に整理した。合計2,341km²のうち、46%は池養殖、44%は公共湖沼が占めており、9%が水田の水路である。養殖池と水田の水路は農村の中に点在しているため、淡水魚の養殖が農村地域生態系の中で機能していることに注意を喚起したい。

2010年のボゴール地域の淡水魚養殖での生産量は約3.6万tとなっている (Table 4)。魚類の窒素含有率は、その種類を問わず高い相関性がある¹⁶⁾。淡水魚生産量から、その窒素量を推計すると、2010年では976tに相当する窒素量が養殖池から運び出される (Fig. 4)。一方、淡水魚の養殖における窒素の利用率は23%に留まることから¹⁷⁾、976tの窒素量に相当する養殖魚を生産するためには約4,240tの窒素を養殖池に供給する必要性があり、更に、約3,260tの窒素が未利用の資源として養殖池に残存もしくは系外へ排出される。今後、村内の淡水魚養殖池の水質及び土壌養

Table 4 Fresh water fish production by kinds in Bogor Regency

Local name	English name	Scientific name	2009		2010	
			Production(t)	%	Production(t)	%
Lele	Catfish	(a number of species)	18,315.0	63.7	24,884.5	69.1
Ikan mas	Common carp	<i>Cyprinus carpio</i>	3,859.6	13.4	4,063.6	11.3
Gurame	Giant gourami	<i>Osphronemus goramy</i>	1,946.4	6.8	2,057.6	5.7
Nila	Nile tilapia	<i>Oreochromis niloticus</i>	1,842.2	6.4	2,073.4	5.8
Bawal	Black pomfret	<i>Parastromateus niger</i>	2,026.1	7.0	2,154.7	6.0
Patin	Striped catfish	<i>Pangasius hypophthalmus</i>	584.8	2.0	647.3	1.8
Tawes	Java barb	<i>Barbonymus gonionotus</i>	75.8	0.3	76.1	0.2
Tambakan	Kissing gouramy	<i>Helostoma temminckii</i>	33.7	0.1	21.1	0.1
Mujair	Mozambique tilapia	<i>Oreochromis mossambicus</i>	31.7	0.1	29.1	0.1
Others			27.4	0.1	0.4	0.001
Total			28,742.7	100.0	36,007.7	100.0

Source : Badan Penyuluhan Pertanian, Perikanan dan Perkebunan Kabupaten Bogor, 2012

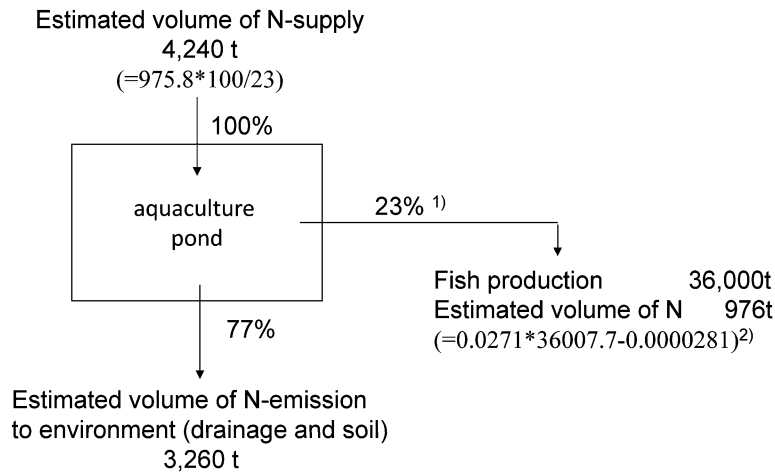


Fig. 4 Estimation of nitrogen valance for aquaculture in Bogor Regency in 2010

¹⁾ Avnimelech 1999, ²⁾ Ramseyer 2002

Table 5 Household water area applying freshwater fish culture by types in Bogor Regency

	Pond	Lake	Rice Field Ditch	Others	Total
Area (km ²)	1,075.9	1,031.3	220.3	13.8	2,341.4
%	46.0	44.0	9.4	0.6	100.0

Source : Badan Penyuluhan Pertanian, Perikanan dan Perkebunan Kabupaten Bogor, 2012

Table 6 Size of ponds for freshwater fish cultivation in Putir village

No	Length (m)	Width (m)	Area (m ²)	Water level (m)	Volume of water in pond (m ³)
1	13.8	5.2	71.8	0.5	35.9
2	12.6	9.3	117.2	0.5	58.6
3	17.8	7.7	137.1	0.5	68.5
4	20.0	8.4	168.0	0.4	67.2
5	18.4	4.9	90.2	0.5	45.1
AVG.	16.5	7.1	116.9	0.5	55.1

Source: Field survey in September 2012

分状態を把握し、その未利用資源を作物生産などへ有効利用するシステムを構築する事が必要となる。

調査村における淡水魚養殖の実態

Petir 村では、専業業者による養殖池とともに農家が作物栽培と並行して水田を養殖池に作り替えて行う養殖が盛んに行われている。1997年のインドネシア経済危機後、農村の貧困が一段と厳しくなったが、2000年に村民の一人がグラメ養殖を始めたのをきっかけに村内に普及した。聞き取り調査によると、ボゴール県で主要となっている上位6種が当村でも一般的で (Table 4)、特に、グラメとクロアジモドキが多い。養殖池は、水田や畑に囲まれた灌漑水路に沿ったところに作られており、他の田畑と同様畦畔で囲まれたテラス状になっていて、一見すると湛水中の水田のように見える。村内の5つの池をランダムに抽出し、池の長さ、幅、面積、水深および水容量を計測した結果を Table 6 に示す。平均規模は、水深約 0.5 m、面積 100~150 m²、水容量は 55 m³であった。灌漑の用水と排水は区別されおらず、灌漑水路から水が棚田の上位の養殖池に引き込まれ、順次、下位の池に流れ込んでいく。最終的に、下位の養殖池からふたたび灌漑水路に流れ出していくという仕組みである。この水は、村の上流から流れ込み、生活水、農業用排水、養殖用排水と区別なく混ざり合い、下流に移行していく。

グラメの養殖を例にして、養殖の方法を整理する。養殖

一サイクルごとに池の水を入れ替えて、新しい水を引き込んで次の養殖を行うのが一般的である。まず前にためておいた水を流して日干する。次に、鶏糞堆肥約 60 kg/55 m³を池に投入し、灌漑水路から引きこんだ水を投入する。1週間後には、藻類の繁茂により水が緑色に変色してくるので、数 mm の稚魚を放す。約 20 日後に、同じように堆肥をまいて準備しておいた別の池に稚魚を移殖する。さらに 1 か月たつと、また別の池に魚を移殖する。このように池を何度も替えるのは、感染性の病気を予防するためだとい、同時に、養殖期間中、約 1 か月に 1 回は抗生物質や殺菌剤を施用している。

グラメは 4~5 cm サイズをニユプルと呼び、5 か月で 350 g 位に、8 か月で 500~600 g 位に成長したところで販売する。8 か月間で 1 kg に達する個体は池あたり 2~3 匹しかいない。8 か月間で 6 kg のエサが必要で、100 m²ほどの池で 1 千万ルピア (約 10 万円) の売り上げがあるという。グラメを池からすべて出して 2 週間ほど干した底土はバナナの栽培には適しているといわれる。しかし、実際には薬剤を投与するほか、クロアジモドキの養殖には海の状態に近づけるために塩を投入するため、池の底土の作物栽培への利用はよくないと考えられており、あまり実施されていない。

小規模農家の行う養殖の餌は、市販の配合飼料ペレット（ダイズやトウモロコシが原料）が7割、池の周辺に植栽しているタロイモ（*Colocasia esculenta* サトイモ科）等植物の生葉が3割というのが一般的である。タロイモ以外にはキャッサバの葉（9か月または11か月でイモを収穫するまで、生育初期の1~2か月ごろから約10回葉を採る）、ヒユ属雑草の葉（*Amaranthus* sp. ヒユ科）が向いているが、タロイモの球茎は苦いので不向きであるという。

当村出身者でジャカルタ在住のA氏は、当地で30人を雇用し35haの農場を営んでいる。すべての魚に植物の葉が適しているという彼は、5,000匹のナマズを養殖しており、3cmの稚魚が3か月で40cmに成長するという。彼によると魚に給与できる植物はいくつかあり、魚の肉質を改良するために意図的に現地の植物を採集していた。それらは、タロイモ、サツマイモ（葉もイモも与えられるが、葉は2.5か月以上たってイモができてから刈る）、sentei, solembat, 日陰の水場の近くに生育するbabagonganやchariuなどである（いずれも現地名）。

村役場の近く（RW1）に位置する養魚農家兼仲買人のB氏は、長く養殖業を行っている。養殖池の水は濃い緑色に濁っており、池の土手にはタロイモが植えられている。ボゴールは降雨が多いのでタロイモにそれほど苦味がなく、この葉が魚の肉質をよくすると信じて、根元から切って池に浮かべて魚の餌にしていた。タロイモの葉は、毎月1枚ずつ展開し、長さ150cm程に大きく成長した葉1枚は生重量800gを示した。この葉がナマズ、patin（カイヤン）、グラメ等の餌になっており、葉脈のみ残って浮いている状態を他の農家の養魚池でも見かけた。タロイモは中部や東部ジャワにも分布しているが、そちらのタロイモはかゆみ（gatal）のため魚の餌には適さないという。当地ではタロイモではなくエンサイ（*Ipomoea aquatic* ヒルガオ科）を魚に与えているという。

養殖の問題はエサの調達と販売価格の低迷で、市販のペレットに代わる餌の生産ができる家内工業があればよいと考えられていた。また、魚に与える植物は広葉の作物の茎葉および野草で、ペレットに100%依存するより肉質が向上するという理由で多様な利用がなされていることが明らかになった。

第5節 生態系内の物質循環機能を高める統合的ファームシステムへの可能性と課題

水田・畑地利用

当村における作物生産について以下の3点に要約する。第1に、最も重要な稲作については、1980年代における灌漑計画および技術革新の導入によって、現在では化学肥料、農薬などの化学合成資材に依存した農法となっている。しかし、近年では有機質肥料の使用が増加してきているのは注目に値する。すなわち、家畜糞や市販の液肥および糞を用いて堆肥を製造したり、市販の有機質肥料を購入したりしている。

第2に、当村で支配的な作付体系は輪作であった。ただし、多種類の輪作体系が存在した。その中で、水稻→キュ

ウリ→サツマイモ/ナガササゲ/トウモロコシがかなり普及した輪作体系とみなされた。すなわち、水稻収穫後にキュウリ（40日目から収穫可、2か月間収穫継続）を栽培してからサツマイモ、ナガササゲ、あるいはトウモロコシ（75日で収穫）を作付けする1年3作の輪作体系である。水田にパラウイジャ作物（二次作物：キャッサバ、サツマイモ、トウモロコシ）および野菜を栽培するには圃場整備費がかさむので、畑地にしたら少なくとも2作は畑作物を栽培する傾向が強い。畑作ではトゥンパンサリ（tumpang sari）と呼ばれる混作システムが一般的で¹⁸⁾、調査時の観察では、約1.5m幅の畝の中央にナガササゲを支柱仕立てにして植え、株元にはサツマイモとラッカセイ、リョクトウが植栽されていた。サツマイモの代わりにクズイモを作付したり、トウモロコシやタロイモを加えたりする場合もあった。

第3に、屋敷地（pekarangan）ではグアバ、パパイヤ、バナナ、ナツメグなどの果樹が栽培されている。地域的には、村内でも標高がやや高いRW6とRW7に多彩な畑作栽培が展開されている。たとえば、RW7の最高位付近（標高440m）には水田はなく、パパイヤ、シソ科の高木メリナ（*Gmelina arborea*）、センゴン（*Albizia chinensis* マメ科）が植栽されている。パパイヤは、2.5~3m幅の畝を立て中央に植えられる。パパイヤの草高が低い時は、畝間にトウモロコシを混作し、パパイヤが成長するとパパイヤ単作畑になる。センゴンは、6年で樹幹が10mほどに成長する速成樹で、近年盛んに植えられている。当地域はかつてパイナップルや茶のプランテーションとして利用されていたが、水がかりが悪い調査村の南部では多年生から木本植物の栽培へとシフトしてきている。

農業多様化への展開と統合的ファームシステム

前述の多様な畑作物栽培と輪作体系の確立はそれ自体が農業多様化の一形態であり、インドネシアの農業政策に基づく農業振興と呼べる¹⁹⁾。調査村で確認された生活排水、畜産および養魚で試算された窒素成分の農業生態系における移行の模式図を示す（Fig. 5）。生産者としての植物は、雑草や非作物植生、作物（稲、畑作物）、果樹、樹木があり、この生産は物理的環境としての土壌栄養や水により成り立つが、生活排水として窒素104kg/haが賦存しているため生活排水が混入する灌漑水からその一部が植物に利用される。生産物は、人々の自給と市場への持ち出しによって系外に移出される。植物はまた、飼料として緬山羊や家禽、養魚に給与されるが、同時に系外からの飼料や薬剤が投入される。これらの産物はまた系外に持ち出されるが、サツマイモの茎葉を給与されたヤギの試算から残餌と糞に79%の窒素が残存していることがわかった。また魚養殖の試算では、77%の窒素が利用されず残存していた。これらの多量の窒素を作物栽培に活用する技術とシステムの体系をつくることは、農業の生態学的な多様性を成り立たせる基盤となるだけでなく、外部環境への物質の流出を減少させる効果がある。

また、当村の北部は水田と養魚、南部は畑作（多年草・木本）および畜産と適応分化が起こっており、水供給によ

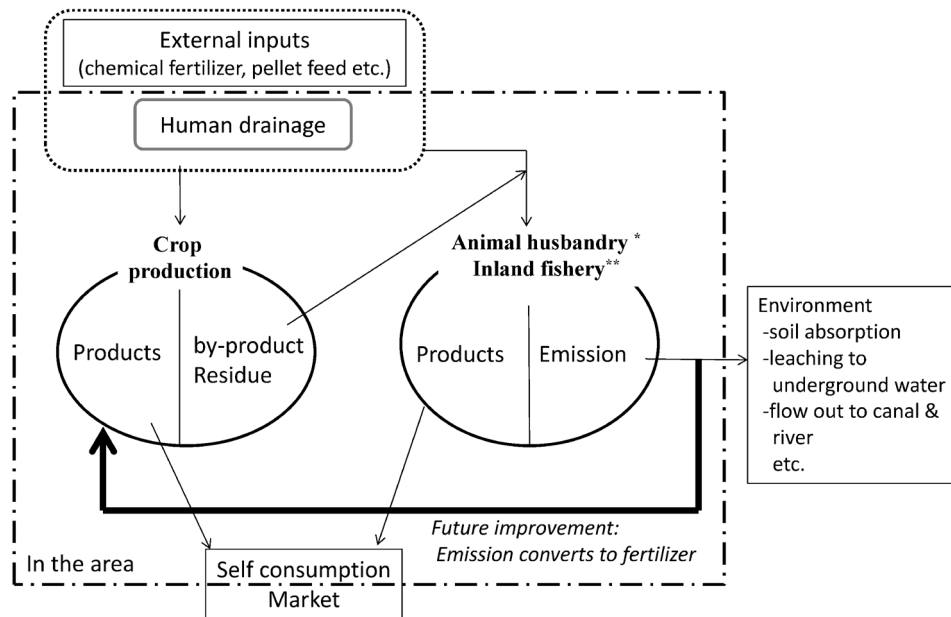


Fig. 5 Material cycle in the agroecosystems in study village

*79% N was emission (See Fig. 2) **77% N was emission (See Fig. 3)

て作目に違いが出ていることがわかった。いずれにしても、稲作、畑作、魚養殖、畜産と多様な農業様式が展開していることから、これら農業生態系における投入と産出の量的把握、堆肥や飼料となりうる資材の製造と移送の可能性等を検討することで、地域資源の有効活用を基礎として、複合経営が可能な統合的ファーミングシステムのモデル化ができるものと考えられる。その際、いくつかの中核となるような特産品を開発することは、雇用をもとめて域外に若者が流出することを防ぎ、地域の有用資源と人材の有効活用および地域文化の維持、地域営農システムの向上の観点からも極めて意義深いといえる。たとえば、現地で入手可能な作物残渣を利用したサイレージや養魚飼料などの加工を特産品として開発することは、農産加工に類する多角的な経営展開を望めるばかりか、未利用資源の有効活用と窒素の系外への流出を防ぐこととして望ましい。

第6節 まとめ

水汚染はPetirだけの問題ではなく、ジャワ島が抱えている大きな問題といえる。膨大な人口、南北に短い島で3,000m級の火山が連なり、山麓から低地平原に至るまで集約的な農業が展開され、低地には大都市がいくつもあつた。低地に行くにしたがつて水汚染は深刻化していくが¹⁵⁾、その水を生活水とせざるを得ない低所得層の人たちも多く存在する。汽水域では、海外向けのエビなどの養殖もおこなわれている。上下水道の基盤整備をジャワ島全土で実施するには膨大な予算が必要とされ、実質的には困難を極める。人口増加を緩和するために、外島への移住も勧められているとはいえ、人口と農業活動を減少させることは不可能である。山麓での農業と生活排水による水汚染が少しでも緩和されるように、物質が農業生態系外に流出しないような生態系内での循環が機能するような農業生産システムを進

めていくことが緊急の課題である。耕種、畜産、養殖の相互連携を強め、外的投入資材の利用が少しでも少なくなるよう、農業生態系内で利用していない機能を発見して積極的に利用するような現地の実態に即した統合的ファーミングシステムの技法を提案する必要がある。当地では、畦畔や路傍に生える非作物植生が魚養殖にうまく用いられていることが分かった。これらは、農民たちの試行錯誤の結果得られた知識の継承であり、現存植生を活用した有効な取り組み法であるといえる。しかし一方で、目に見えない水の汚染に対する知識は、あまり蓄積されているとはいえず、今後、湧水、井戸水、農業灌漑水路、河川水を分析し、村内での硝酸態窒素汚染の実態と農業との関係を明らかにし、農業生態系内での量的実態把握をする必要がある。それらの情報を住民に還元し、村からの生活排水が低地に流出しないような水利用のあり方を検討することが求められる。

引用文献

- 1) EGASHIRA K, Y MATSUSHITA *et al.* (2003) Features and Trends of Rainfall in Recent 20 Years at Different Locations in Humid Tropical to Subtropical Asia. 九州大学農学部紀要. 48 (1-2) : 219-225.
- 2) VOLLAARD A.M, ALI S, SMET J, van ASTEN H, WIDJAJA S, VISSER L.G, SURJADI C, van DISSEL J.T. (2005) A Survey of the Supply and Bacteriologic Quality of Drinking Water and Sanitation in Jakarta, Indonesia. *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health.* 36 (6), 1552-61.
- 3) 寶示戸雅之 (2003) 農業系 (畜産) と人間系 (生活排水) から発生するアンモニアのインパクト, 資源環境対策 39 (13), 60-67.
- 4) 熊澤喜久雄 (1999) 地下水の硝酸態窒素汚染の現況, 日本土壤肥料学雑誌 70 (2), 207-213.

- 5) 植田達博 (2000) インドネシアにおける下水道の現況と課題 下水道協会誌 37 (453), 19-25.
- 6) 齊藤 貢・岩本博幸・眞柄泰基 (2003) インドネシアにおける生活排水による水環境汚染の改善に関する費用便益分析 土木学会論文集 741, 131-141.
- 7) GLEISSMAN SR (2007) Agroecology : Ecology of Sustainable Food Systems. CRC Press, Boca Raton, FL.
- 8) 宮浦理恵・稲泉博己・藤本彰三・横田健治・志和地弘信・馬場 正 (2013) 地域農業振興モデル構築のための調査地の選定—インドネシア・ボゴール農村における特産品開発事例—農学集報 58 (3), 170-179.
- 9) 宮浦理恵・稲泉博己・藤本彰三 (2014) インドネシア・ボゴール県 Petir 村の農業環境と村内社会経済的分化の実態 食農と環境 13, 117-124.
- 10) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課浄化槽推進室編 (2007) 浄化槽管理者への設置と維持管理に関する指導・助言マニュアル, 3-16. http://www.env.go.jp/recycle/jokaso/data/manual/pdf_kanrisya/full.pdf
- 11) 農林水産省農林水産技術会議事務局編 (1995) 日本標準飼料成分表 (1995年版), 中央畜産会, 東京, 36-37.
- 12) SUBCOMMITTEE ON DAIRY CATTLE NUTRITION, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture and Natural Resource, Division on Earth and Life Studies, National Research Council (2001) Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition 2001, National Academy Press NRC 乳牛飼養標準 2001年・第7版 (2002) デーリィ・ジャパン社, 東京, 270-271.
- 13) SODIQ A, ES TAWFIK (2004) Productivity and Breeding Strategies of Sheep in Indonesia : A Review, *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 105 (1), 71-82.
- 14) 奥村純市・田中桂一 (1995) 動物栄養学 朝倉書店, 東京, 4.
- 15) FAO HP, Fisheries and Aquaculture Department, "National Aquaculture Sector Overview Indonesia" http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/en (2013年8月20日閲覧)
- 16) AVNIMELECH Y (1999) Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227-235.
- 17) RAMSEYER LJ (2002) Predicting whole-fish nitrogen content from fish wet weight using regression analysis, *North American Journal of Aquaculture*, 64 (3), 195-204.
- 18) 宮浦理恵 (1997) 西部ジャワ高地における土地利用と野菜栽培の変容, 農耕の技術と文化 20, 64-86.
- 19) 西村美彦 (2009) インドネシアの農業政策—コメ政策を中心に食料確保に向けた取り組み, 課題, 今後の展望等についての調査—, 食品需給研究センター, 平成20年度海外農業情報調査分析事業アジア地域報告書, 125-149.

Agriculture and Water Use in Rural Areas as a Source of Water Pollution in Java

—The Case of Petir Village, Bogor Regency, Indonesia—

By

Rie MIYAURA^{*†}, Maki HAYASHIDA^{**} and Kenji YOKOTA^{***}

(Received August 22, 2013/Accepted December 6, 2013)

Summary : While application of optimum level of input for agricultural production is the basis of reducing environmental impacts, overuse of fertilizer and feed are observed in small scale intensive farming in developing countries. Agriculture in areas of higher elevation at the foot of mountains should be practiced in order to minimize environmental impact and to conserve the water quality to protect human health and quality of life, as well as the ecosystem of the lower regions. This research aims to clarify from an agroecological viewpoint the actual situation of agriculture and rural lifeline infrastructure of as possible sources of water pollution, through a case study in Petir village, West Java, Indonesia located at around 500m above sea level.

Lifeline infrastructure for water supply and sewerage systems was not covered in this village. A total of 57% of the households took spring water and 37% used wells. More than 60% of the households did not have private washrooms at home, and used communal wash places. Estimated nitrogen emission from human drainage was 104 kg/ha/year. Small scale farmers raised mainly goats and sheep at pens in home gardens, and free-range poultry of local chickens and waterfowls. In an estimation of the local farmers' practice of feeding of the upper parts of sweet potato after harvest to goats and sheep, it was found that a total of 79% nitrogen remained in ort and feces as unused resources. Farmers practiced fresh water inland fisheries in average 110 m² of ponds for common carp, giant gourami and Nile tilapia. Chicken manure was first put into the pond to propagate algae to produce fishes, which were fed pellets and green plants, completed within a year by intensive practices. They used water taken from and put out into irrigation canals once a month. By estimation of fisheries in Bogor Regency, only 23% of nitrogen was used for fish production and the rest was released to the environment, equivalent to 3,260 t of nitrogen.

In order to reduce water pollution by inland fisheries, animal husbandry and human life in the rural areas of higher altitude, it is considered to be an important issue that nitrogen emission should be converted for crop production as a nutrient by improving feeding practices and practicing appropriate agricultural techniques.

Sustainable agroecology in the form of more integrated farming systems is needed for the function of material recycling with less external input by increasing the possibility of utilization of unused local resources.

Key words : integrated farming system, agroecology, inland fishery, living drainage, nitrogen emission

* Department of International Biobusiness Studies, Faculty of International Agriculture and Food Studies, Tokyo University of Agriculture

** Department of Bioproduction Technology, Junior college of Tokyo University of Agriculture

*** Department of Applied Biology and Chemistry, Faculty of Applied Biosciences, Tokyo University of Agriculture

† Corresponding author (E-mail : mia@nodai.ac.jp)