

(51) 大気降下物に着目した利根川上流域の窒素収支

酒井 憲司^{1*}・久保田 一¹・神岡 誠司²・中村 彰吾¹・渡辺 拓³

¹河川環境管理財団 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 11-9)

²パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1)

³株式会社日水コン (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 4-7-107)

* E-mail: sakai-ke@kasen.or.jp

利根川中流部に位置する利根大堰より上流の流域を対象として、流域とその上空の大気における窒素の収支を原単位法により推定した。2005 年前後を基準として、点源、肥料、家畜、窒素固定、大気降下物による流域への窒素の排出量、農作物、脱窒及び河川流出による流域からの窒素の取出量、家畜排泄物と化学肥料の揮散及び自動車排ガスによる大気への窒素の排出量を算定した。その結果、流域へ排出される窒素は流域面積当り 60kgN/ha/y となり、大気降下物が 28%を占めた。流域からの取出では河川流出が最も大きく排出量の 39%であり、収支の差は排出量の 38%であった。大気への窒素の排出量は大気降下量を上回ったが、NO_x については排出量が降下量よりやや少なく、排出源の計上漏れもしくは他流域からの移送の可能性が考えられる。

Key Words: nitrogen balance, atmospheric deposition, basic unit, river basin, Tone river

1. はじめに

河川や湖沼の流域において栄養塩である窒素の管理を行うためには、流域における窒素の収支を把握する必要がある。窒素の排出源としては生活系や産業系のいわゆる点源の他に、降水に伴う水循環に合わせて流域の土地から排出されるいわゆる面源がある。面源の基になっているのは、肥料のように土地に投入される窒素の他に、降水等により大気からもたらされる窒素（以下、大気由来窒素という）がある。大気由来窒素が流域の窒素収支に占める割合を明確にすること、及び大気由来窒素がどこからもたらされるのかを把握することは流域の窒素管理にとって重要な課題である。

大気由来窒素の占める割合を明確にするためには、窒素収支について特に収入側の構造を明らかにする必要がある。本研究では湖沼の水質保全計画において面源負荷対策を検討する際に用いられている手法¹⁾に則り、流域の土地を森林、農地、市街地、その他の用途に区分し、そこでの窒素の動きを統計値や原単位を用いて算定した。その際、人や家畜については食料や原材料、飼料からではなく、排泄物や排水となった時点から扱うこととした。

本研究で対象とした流域は、利根川の河口から 154km 地点にある利根大堰より上流域（以下、利根川上流域という）である。利根川上流域を対象とした理由は 2 つあり、一つは青井らの研究²⁾により森林から流れ出る溪流

水の中に高濃度の窒素が確認されている溪流が少なからず存在すること、もう一つは利根大堰で流量と窒素濃度が定期的に観測されているため流下する窒素量を精度よく把握できることである。

試算の対象とした排出源は、利根川上流域の特徴を踏まえて、点源、大気降下物、肥料、農地と森林での窒素固定とし、肥料には化学肥料の他に堆肥として利用される家畜排泄物を含めた。流域からの窒素の取り出しとしては、農作物の収穫、農地での脱窒、化学肥料の揮散、河川への流出を取り上げた。また大気由来窒素の起源としては兼保らの結果³⁾を参考に、家畜排泄物と化学肥料からの揮散及び自動車排ガスからの排出を取り上げた。

2. 利根川上流域の諸元

研究対象とした利根川上流域は群馬県の大半と埼玉県の一部から構成されている。窒素収支の算定に必要なデータは 2005 年度を基本として各種統計より入手したが、そのほとんどは県全体の値であることから、面積や人口による補正を行い利根川上流域の値を求めた。

1) 面積と人口

利根川上流域の面積は水資源機構の資料⁴⁾から 6010 km²を用い、群馬と埼玉の両県に係る面積は流総資料⁵⁾

の値を基に、その和が 6010 km² となるよう同じ率 (0.9817, 以下、補正係数 A) で補正して算定した。

用途別の面積については、群馬県分のうち市街地は流総資料より算定し、農地と森林は県資料^{6), 7)}の全県値に利根川上流域の群馬県分と全県との面積の比 (0.8878, 以下、補正係数 B) を乗じて算定し、残りをその他とした。埼玉県分については森林、農地、市街地は流総資料の値に補正係数 A を乗じて算定し、残りをその他とした。なお耕作放棄地は流総資料では農地に含まれていると判断されることから、耕作放棄地を含めた農地面積の利根川上流域の埼玉県分と全県の比 (0.1802) を用いて、水田と畑で同じ割合で存在すると仮定して利根川上流域の耕作放棄地の面積を算定した^{8), 9)}。

表-1 に用途別の面積を示す。

人口については、流総資料による 2006 年における汚水処理形態別の人口を表-2 に示す。

2) 降水

降水については、利根川上流域で継続的に湿性降水量が測定されている前橋、太田、安中、中之条、赤城の 5 地点について、地点の特徴、2003-2005 年度の降水量及び降水中の NH₄-N と NO₃-N の年間平均濃度を表-3 に示す^{11), 12), 13), 14)}。

なお通年にわたる降水の TN 濃度や TN の湿性降水量については、全国的にほとんど報告がないことから、本研究では大気降水物については NH₄-N と NO₃-N の和を TN として扱うこととした。

表-1 用途別の面積

用途	面積 (km ²)	割合 (%)
森林	3846	64.0
農地	994	16.5
水田	327	5.4
畑	522	8.7
耕作放棄地	145	2.4
市街地	565	9.4
その他	605	10.1
合 計	6010	100

表-2 汚水処理形態別人口と排出原単位

汚水処理 の形態	人口 (千人)	排出原単位 ¹⁰⁾ (gN/人・日)
下水道	796	—
農業集落排水	107	6.1
コミプラ	33	6.1
浄化槽	858	6.5
汲み取り他	238	2
合計	2032	

表-3 降水量と降水中の平均窒素濃度

年度	項目	前橋	中之条	安中	太田	赤城
2003	降水量	1016	898	1039	955	1563
	NH ₄ -N	1.03	0.63	0.77	0.62	0.24
	NO ₃ -N	0.75	0.55	0.82	0.52	0.27
2004	降水量	1384	1304	1382	980	1608
	NH ₄ -N	0.72	0.73	0.53	0.64	—
	NO ₃ -N	0.56	0.40	0.52	0.41	—
2005	降水量	1132	1128	961	1125	1565
	NH ₄ -N	1.03	0.80	1.04	0.74	—
	NO ₃ -N	0.76	0.56	0.84	0.58	—
地点の特徴		農地	用途なし	住宅地	住宅地	田園
出 典		(1), (12), (13)	(1), (12), (13)	(1), (12), (13)	(1), (12), (13)	(14)

注: 単位は、降水量が mm, NH₄-N と NO₃-N が mgN/L

表-4 主要農作物の作付面積、収穫量
及び窒素含有率

主要作物	作付面積 (ha)	収穫量 (t/y)	窒素含有率 (%湿重)
水稻	22450	110700	1.143
小麦	8340	34200	1.818
コンニャク	3490	56300	0.016
牧草	3340	199500	0.368
キャベツ	3100	192200	0.208
背刈りトウモロコシ	2960	183200	0.185
ほうれんそう	2380	28900	0.352
その他	31980		
合 計	78040		

出典: 作付面積と収穫量は、群馬県分は 6), 9)

埼玉県分は 9), 18)

窒素含有率は、15), 16), 17)

3) 農地と家畜

農地については、2005 年の農作物の作付面積と収穫量を算定した。群馬県分は全県値^{6), 9)}に補正係数 B を乗じて算定した。埼玉県分は水田と畑に分けて得られる農地面積の利根川上流域と全県の比 (水田: 0.1401, 畑: 0.2308) を、それぞれの作付面積と収穫量の全県値^{9), 18)}に multiplying して算定し、個々の畑作物の作付面積と収穫量は、上記の畑に関する比の値を各作物の全県値に multiplying して算定した。なお二毛作の農地については水田と畑に重複して計上されているが、特に補正はしていない。

表-4 に主要農作物の作付面積と収穫量を示す。

家畜については、群馬県分は全県値⁹⁾に補正係数 B を乗じて算定した。埼玉県分は流総資料における利根川上流域の値と農林水産統計⁹⁾の全県値との比 (牛: 0.5492, ブタ: 0.2273, 採卵鶏とブロイラーはブタと同じとした) を全県値に multiplying して算定した。

表-5 に家畜の飼養数を示す。

表-5 家畜の飼養数、排出原単位、
堆肥化の揮散率及びブタ尿処理の除去率

種類	飼養数	排出原単位 ¹⁸⁾ (kgN/頭/y)	揮散率等 ^{18), 33)} (%)
乳牛	49600	99.1	27
肉牛	70400	51.2	28
ブタ	563500	11.1	39
(うち尿)		(8.3)	(87)
ブロイラー	893800	0.55	60
採卵鶏	7158000	0.62	60

注: 揮散率等で()の値はブタ尿処理の除去率

表-6 自動車の走行距離と排出原単位

車 種	走行距離 (百万km)	NOx ²³⁾ (gN/km)	NH ₃ ³⁾ (mgN/km)
バス	84	1.724	0.99
乗用	7952	0.045	70.3
軽乗用	3242	0.037	70.3
普通貨物	1698	1.861	0.99
小型貨物	1237	0.218	70.3
軽貨物	1445	0.099	70.3
合 計	15658		

注: バスと普通貨物をディーゼル車,
その他はガソリン車とした

4) 自動車

自動車については、走行距離を基に設定された原単位を用いて排ガス中の窒素化合物の算定を行った。走行距離は、関東運輸局管内の2005年度における車種別の走行距離²⁰⁾に、両県と関東運輸局管内の車種別の所有台数²¹⁾の比を乗じて、両県の車種別の値として算定した。その際、所有台数の統計における乗用車の普通車と小型車の和が走行距離の統計における乗用に対応するものとみなした。

各県の値に流総資料と総務省統計²²⁾から得られる利根川上流域分と全県の人口の比(群馬県分: 0.8399, 埼玉県分: 0.04634)を乗じて利根川上流域の自動車走行距離を算定した。表-6に自動車走行距離を示す。

3. 排出及び取出における窒素の動きの算定手法

流域への窒素の排出と流域からの窒素の取出における窒素の動きを、主に原単位法により算定した。河川への流出量はL-Q法により算定した。

1) 点源

点源については流総資料に従い、生活系(下水道や集落排水を除く)、施設系(下水処理場やし尿処理場等)、産業系及び観光系に分け、生活系以外については同資料の値に同資料の利根川上流域と利根川流域の人口比(群馬県分: 0.8399, 埼玉県分: 0.9608)を乗じて得られた

値を用いた。生活系については営業分が加味された値となっていることから、営業分を控除した窒素量を得るために表-2に示す人口と排出原単位¹⁰⁾を用いて算定した。なお下水道分については放流水の測定値から得られる窒素量が施設系に計上されている。

この結果、点源を構成する生活系、産業系、観光系、施設系の窒素量は各々2520 tN/y, 3540 tN/y, 100 tN/y, 1290 tN/yで、合計7450 tN/yとなる。

2) 大気降下物

大気降下物中の窒素については、利根川上流域の測定地点の値を基に原単位を設定した。表-3に示した5地点のデータから求めた湿性降下量を表-7に示す。測定地点の特徴と地理的分布から5地点の平均値である13.7 kgN/ha/yを市街地、農地、その他の用途の原単位とした。このときのNH₄-NとNO₃-Nの湿性降下量は、それぞれ7.6 kgN/ha/y, 6.1 kgN/ha/yとなる。

森林についてはバルク降下量(常時開放状態で降水を採取して得られる降下量で、湿性降下量全てと乾性降下量の一部の和に相当)の報告値を表-8に示す²⁾。森林ではないが、バルク降下量^{25), 26), 27)}と湿性降下量の両方が測定されている前橋での両者の比(1.3)でバルク降下量の値を除することにより森林の湿性降下量を推定した。その結果、利根川上流域の西部と中部では14.6 kgN/ha/y, 8.9 kgN/ha/yが得られる。東部は中部と同じとみなして、3つのエリアの平均値10.8 kgN/ha/yを森林の湿性降下量の原単位とした。NH₄-NとNO₃-Nの湿性降下量はそれぞれ5.3 kgN/ha/y, 5.5 kgN/ha/yとなる。

乾性降下量は前橋においてインフレンシャル法による推計がなされている²⁸⁾。その結果では乾性降下量と湿性降下量の比がほぼ0.4であるので、乾性降下量は一律に湿性降下量の40%とした。

森林における生物による窒素固定は、文献²⁹⁾から単位面積あたり2.5 kgN/ha/yとして算定した。

表-7 湿性降下量とその内訳 (kgN/ha/y)

	前橋	中之条	安中	太田	赤城
NH ₄ -N	10.7	8.1	8.4	6.8	3.8
NO ₃ -N	8.0	5.5	7.9	5.2	4.2
T-N	18.7	13.5	16.4	12.0	8.0

注: 赤城は2003年度の値。

他の4地点は2003-2005年度の平均値

表-8 森林におけるバルク降下量 (kgN/ha/y)

	安中市(裏妙義) ²⁾		水上町 ²⁴⁾ (宝川)
年	2007	2008	2003-2004
NH ₄ -N	8.2	8.7	6.2
NO ₃ -N	10.3	10.8	5.4
T-N	18.5	19.5	11.6

3) 農地と家畜

肥料については、両県で作物毎に施肥基準³⁰⁾が定められているので、作付面積と収穫量の統計の得られている作物について、基準に記載された値の平均値を作付面積に乘じて基準施肥量を求めた。両県の基準に記載のない作物については近隣県の基準を準用した。この結果、9330 tN/y が得られる。作物によっては別途堆肥の使用が示されているものもあるが、その点は考慮していない。

化学肥料の使用量の目安として出荷量の統計³¹⁾がある。出荷量の実県値に群馬県の場合は補正係数 B、埼玉県は耕作放棄地を除く農地面積の利根川上流域分と全県との比(0.1804)を乘じて算定した結果、6360 tN/y が得られる。この値は上記の基準施肥量の約 2/3 であることから、こちらの値を化学肥料の使用量とした。

その他の土地利用に含まれるゴルフ場や公園などでも化学肥料の使用が想定されるが、上記の出荷量に含まれていると考えられるので別途の計上はしていない。

家畜排泄物の窒素量は飼養数と徐らの排出原単位¹⁹⁾から算定した。群馬県ではブタ尿の約 70% が処理に回され、残りは大半が県内で堆肥等として利用されている³²⁾ことから、ブタ尿の 70% が処理され、ブタ尿の残りとその他の家畜の排泄物は全て堆肥化され、その過程での揮散分以外は全て農地で利用されるとみなした。ブタ尿の処理による窒素の除去は全て脱窒とみなした。家畜排泄物の排出原単位と堆肥化における揮散率及びブタ尿処理の除去率を既出の表-5 に示す^{19), 19), 33)}。家畜排泄物は排出量 19700 tN/y に対して揮散量 6460 tN/y、除去量 2840 tN/y となり、9970 tN/y が堆肥としての農地への投入量、430 tN/y が処理水としての流域への排出量となる。

使用された化学肥料の一部が土壌から NH₃ として揮散する割合については、文献³⁴⁾から利根川上流域で出荷量の最も多い高度化成肥料の値(5%)を用いた。

農作物中の窒素については収穫量に日本食品標準成分表他の資料^{15), 16), 17)}の窒素含有率を乗じて求めた。表-4 に主要農作物の食用もしくは飼肥料用として利用される部分の窒素含有率を示す。収穫作物に含まれる窒素量は 4780 tN/y となる。

表-9 農地における窒素固定と脱窒

作物	作付面積 (ha)	窒素固定		脱窒	
		原単位	固定量	原単位	脱窒量
水稻	22450	40	900	70	1570
大豆	630	100	60	30	20
小豆	280	45	10	30	10
その他マメ科	1420	20	30	30	40
飼料作物(混播)	3340	45	150	30	100
その他	49920	0	0	30	1500
合計	78040		1150		3240

注: 飼料作物(混播)は牧草の値を用いた

単位は、原単位が kgN/ha/y、固定量・脱窒量が tN/y

農地では栽培作物の種類や農地の状態に応じて窒素固定と脱窒が想定されるので、三島らの原単位¹⁷⁾を用いて算定した結果を表-9 に示す。

4) 自動車

自動車排ガスの原単位は、NO_x は環境省の資料²⁹⁾から車速 40 km/h の値、NH₃ は兼保らの値³⁾を用いた。両者を既出の表-6 に示す。なお NO_x は全て NO とみなして窒素量を求めた。この結果、自動車からの排出量は NO_x が 4190 tN/y、NH₃ が 980 tN/y となる。

5) 河川流出

利根大堰では、流量は水資源機構により毎日、水質は国土交通省により月 1 回の頻度で測定されている^{4), 35)}。利根川上流域では 4 月～9 月が灌漑期であり、非灌漑期の 10 月～12 月に T-N 濃度がピークになるという特徴が見られる。そこで 2001 年 4 月から 2006 年 3 月における流量と T-N 濃度の関係を 3 つの期間 (1 月～3 月、4 月～9 月、10 月～12 月) に分けて図-1 に示す。10 月～12 月のプロットは 3 つの期間の中で最も濃度が高く、また流量が増えてもほとんど変化が無いことが分かる。なお、この特徴は渡良瀬川など利根川の支川では見られない。

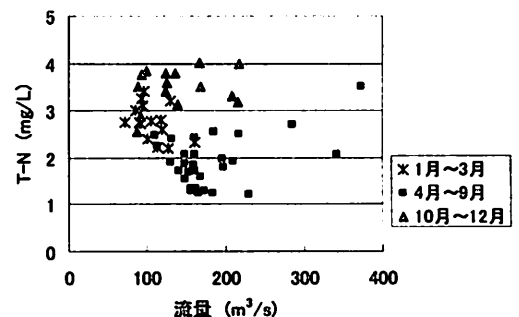


図-1 利根大堰における流量と T-N 濃度

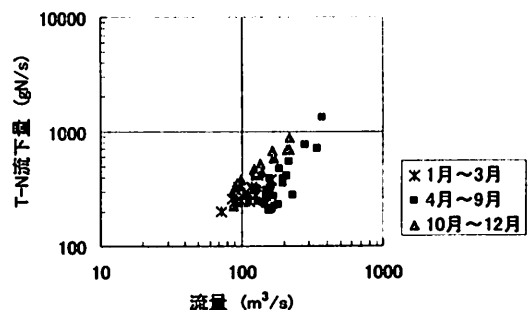


図-2 利根大堰における流量と T-N 流下量

表-10 利根大堰の窒素流下量

年度	流量 (億m ³ /y)	窒素流下量 (tN/y)
2001	63.9	16690
2002	52.7	13060
2003	54.7	13270
2004	58.3	15740
2005	53.7	12700

こうした特徴を踏まえて、前述した3つの期間に分けて流量と窒素流下量の関係を求めた結果を図-2に示す。図-2より得られる流量(Q: m³/s)と窒素流下量(L: gN/s)の相関式は以下の通りである。

$$1月\sim3月 : L = 11.076 Q^{0.7003} \quad (R^2 = 0.5559)$$

$$4月\sim9月 : L = 0.4838 Q^{1.2578} \quad (R^2 = 0.6316)$$

$$10月\sim12月 : L = 2.0088 Q^{1.1111} \quad (R^2 = 0.8999)$$

上記の関係式を用いて、利根大堰における2001～2005年度の年間窒素流下量の算定結果を流量と合わせて表-10に示す。2001～2005年度の5年間の平均値である14290 tN/yを河川流出量とした。このときの年間平均窒素濃度は2.5 mgN/Lとなる。

4. 利根川上流域の窒素収支

利根川上流域での窒素収支を2つのレベルで考察する。1つは流域そのものである地上における収支、もう1つは流域の上部に存在する大気における収支である。

1) 流域における収支

流域における排出と取出の算定結果を流域面積当りの値と合わせて表-11に示す。流域に排出された窒素量は

年間36290 tNで、流域面積当りで表すと約60 kgN/ha/yとなる。大気降下物はその28%を占めており、堆肥として持ち込まれる家畜排泄物と同じ割合である。点源の割合は21%であり、大気降下物より低い。

流域から取り出された窒素量は年間22630 tNで、排出量より少ない結果となった。内訳は河川流出が最も多く排出量の39%を占め、農作物が13%、脱窒が9%である。河川流出量を流域面積当りの値で表すと24 kgN/ha/yとなる。

排出と取出の差は13660 tNで排出量の38%となる。この量は見かけ上、流域での残留に相当するが、使用された堆肥中の窒素の一部が土壌に長期間残留する可能性を指摘する報告³⁶⁾や森林土壌での脱窒を指摘する報告³⁷⁾があることから、こうした現象による可能性がある。

2) 大気における収支

大気における収支を表-12に示す。

流域における大気への排出量と大気降下量の比は、総量では1.2、NH₃では1.5といずれも排出が上回っているのに対して、NO_xでは0.87とやや降下が多い。NH₃とNO_xの比は、排出では1.9であるのに対して、降下では1.1とかなり異なっている。

大気からNO_xの除去過程としてはOHによるHNO₃への酸化やエアロゾル粒子への吸着などがあげられており³⁸⁾、仮に自動車排ガスのNO_xが全てNO₃-Nになるとしても降下量よりやや少なく、排出源の計上漏れや他流域からの移送の可能性が考えられる。

逆にNH₃はやや排出が過剰となっており、その行き先の解明が必要である。

表-12 大気における窒素収支

収入 (排出)	NH ₃ (tN/y)	NO _x (tN/y)	合計 (tN/y)	支出 (降下)	NH ₄ -N (tN/y)	NO ₃ -N (tN/y)	合計 (tN/y)
家畜排泄物	6460		6460	湿性	3680	3440	7120
化学肥料	320		320	乾性	1470	1380	2850
自動車	980	4190	5170				
合計	7760	4190	11950	合計	5150	4820	9970

表-11 流域における窒素収支

収入(排出)	総量 (tN/y)	割合 (%)	流域面積当り (kgN/ha/y)	支出(取出)	総量 (tN/y)	割合 (%)	流域面積当り (kgN/ha/y)
点源	7450	20.5	12.4	収穫農作物	4780	13.2	8.0
大気降下物	9970	27.5	16.6	脱窒	3240	8.9	5.4
湿性	7120	19.6	11.8	化学肥料の揮散	320	0.9	0.5
乾性	2850	7.9	4.7	河川流出	14290	39.4	23.8
化学肥料	6360	17.5	10.6	合計	22630	62.4	37.7
家畜排泄物の堆肥	9970	27.5	16.6				
家畜排泄物の処理水	430	1.2	0.7	収入－支出 (流域残留他)	13660	37.6	22.7
窒素固定	2110	5.8	3.5				
合計	36290	100	60.4				

注：割合は、収入の合計を100としたときの値

5. まとめ

利根川の利根大堰地点より上流の流域を対象として窒素の収支を推定した結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 流域に排出された窒素は流域面積当りで年間約 60 kgN/ha であり、そのうち大気降下物は 28 %を占めている。この割合は畜産の盛んな本流域において家畜排泄物から作られ利用されている堆肥と同じである。
- 2) 流域に排出された窒素のうち河川に流出したものは 39 %であり、これに農作物、脱窒及び揮散を加えた取出では排出の 62 %しか説明できない。排出と取出の差にあたる 38%は流域における残留となるが、未計上の要因による影響も考えられる。
- 3) 大気に関する収支では、大気降下量との比較において、NH₃は大気への排出が上回っており、主な排出源である家畜排泄物だけでも降下量より多い。NO_xは排出がやや下回っており、自動車以外の排出源からの排出や他流域からの移送を考慮する必要がある。
- 4) 流域及び大気のどちらの収支についても不明の部分が少ないからあり、今後その解明が必要である。

利根川上流域において流域に持ち込まれる窒素の約 3 割が大気由来であり、その大気由来窒素の排出源として流域内の家畜や自動車その他が想定されるということは、流域の窒素管理を考える際に重要な視点を与えることになる。直接水環境へ排出される負荷だけでなく、大気への排出も含めた流域での窒素動態を踏まえた管理という視点が必要になると考えられる。

本研究では利根川上流域をひとまとまりとして扱ったが、表-8 で示した森林での大気降下量に見られるように西部で高い値となっている。青井らの研究でも利根川上流域の西部の溪流で他より高濃度の TN が測定されている²⁾。こうした地域間の差がなぜ形成されたのか、興味ある課題である。

謝辞： 本論文は河川環境管理財団が企画して実施した「大気由来窒素の着目した流域の窒素収支に関する研究」の一部をまとめたものである。研究の推進のために組織した研究会のメンバーから様々な指導、意見、資料の提供等をいただいた。研究会のメンバーの古米弘明東京大学教授、青井透群馬高専教授、伊藤優子森林総合研究所主任研究員、川上智規富山県立大学教授、駒井幸雄大阪工業大学教授、佐竹研一立正大学教授、鈴木穂土木研究所グループ長、武田麻由子神奈川県環境科学センター主任研究員、永田俊東京大学教授の皆様にご心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省、農林水産省、環境省：湖沼水質のための流域対策の基本的考え方、p. 6、平成 18 年 3 月
- 2) 青井透、宮里直樹、川上智規：妙義山裏妙義地域での通年調査による窒素飽和現象の確認、第 43 回日本水環境学会年会講演集、p. 9、2009
- 3) 兼保直樹、吉門洋、近藤裕昭、守屋岳、鈴木基雄、白川泰樹：組成別 SPM 濃度シミュレーション・モデルの開発と初冬季高濃度大気汚染への適用(1)、大気環境学会誌、37(3)、pp. 167-183、2002
- 4) 独立行政法人水資源機構：水資源開発施設等管理年報(利根大堰関係河川流量年表)
- 5) 国土交通省関東地方整備局：第 2 回利根川流域別下水道整備総合計画懇談会資料(資料-2)、pp. 123-125、平成 20 年 6 月 17 日
- 6) 群馬県：平成 19 年度群馬の農業、pp. 3、22-25、群馬県庁ホームページ
- 7) 群馬県：群馬県森林林業統計書、群馬県庁ホームページ
- 8) 農林水産省：2005 年農林業センサス、第 1 巻(埼玉県)、第 1 部の 6、農林水産省ホームページ
- 9) 農林水産省：農林水産統計、農林水産省ホームページ
- 10) 社団法人日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説、pp. 34、51、2008 年 9 月
- 11) 全国環境研協議会：第 4 次酸性雨全国調査報告書(平成 15 年度)、全国環境研会誌、Vol. 30、No. 3、pp. 190-195、2005
- 12) 全国環境研協議会：第 4 次酸性雨全国調査報告書(平成 16 年度)、全国環境研会誌、Vol. 31、No. 4、pp. 235-240、2006
- 13) 全国環境研協議会：第 4 次酸性雨全国調査報告書(平成 17 年度)、全国環境研会誌、Vol. 32、No. 4、pp. 224-229、2007
- 14) 環境省：平成 15 年度酸性雨調査結果について(湿性沈着量)、環境省ホームページ
- 15) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会：五訂増補日本食品標準成分表、2005
- 16) 農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」：バイオマス活用システムの設計と評価、pp. 210、242、2006
- 17) 三島慎一郎、松森信、井上恒久：都道府県・市町村での窒素収支産出を行うデータベースの構築、日本土壌肥科学雑誌、第 75 巻、第 2 号、pp. 275-281、2004
- 18) 農林水産省関東農政局：埼玉農林水産統計年報
- 19) 徐開欽、全恵玉、須藤隆一：畜舎排水の性状と原単位、用水と廃水、Vol. 39、No. 12、pp. 1097-1105、1997
- 20) 国土交通省：自動車輸送統計年報、国土交通省ホームページ
- 21) (社) 日本自動車工業会：自動車統計月報、2006 年 6 月
- 22) 総務省統計局：社会生活統計指標、総務省統計局ホームページ

- 23) 環境省：自動車排出ガス原単位及び総量算定検討調査, p. 68, 平成 17 年 3 月
- 24) 森林総合研究所：酸性雨等の森林・溪流への影響モニタリング, 森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集 7, pp. 211-218, 2006
- 25) 関東地方環境対策推進本部大気環境部会酸性雨調査会議：平成 15 年度酸性雨調査報告書, p. 23, 平成 17 年 3 月
- 26) 関東地方環境対策推進本部大気環境部会酸性雨調査会議：平成 16 年度酸性雨調査報告書, p. 3, 平成 18 年 3 月
- 27) 関東地方環境対策推進本部大気環境部会酸性雨調査会議：平成 17 年度酸性雨調査報告書, p. 3, 平成 19 年 3 月
- 28) 全国環境研協議会：第 4 次酸性雨全国調査報告書 (平成 17 年度), 全国環境研会誌, Vol. 32, No. 3, p. 123, 2007
- 29) 独立行政法人森林総合研究所：森の中を素足はめぐる, 研究の森から (第 133 号), 2005 年 3 月 25 日, 森林総合研究所ホームページ
- 30) 農林水産省：都道府県施肥基準等, 農林水産省ホームページ
- 31) 農林水産省消費・安全局農産安全管理課監修：ポケット肥料要覧 2006, pp. 36-45, 65-66, 261, 農林統計協会
- 32) 群馬県：家畜ふん尿処理・利用についてのアンケート結果について, 群馬県庁ホームページ
- 33) 永友延洋, 恒吉雅治：養豚経営における簡易低コスト尿汚水浄化処理システムの開発, 九州農業研究, 第 65 号, p. 129, 2003. 5
- 34) 財団法人計量計画研究所：大気汚染物質排出量グリッドデータ整備業務報告書 (平成 11 年度環境庁委託業務), p. 171, 平成 12 年 3 月
- 35) 国土交通省：水文水質データベース, 国土交通省ホームページ
- 36) 中村真人：バイオマス変換物質の農地利用における動態, 水環境学会誌, Vol. 32, No. 2, pp. 65-68, 2009
- 37) 若松孝志, 佐藤一男, 高橋章, 柴田英昭：スギ林小流域における渓流水のアルカリ度の形成メカニズム, 電力中央研究所報告, 研究報告 T99016, 2000 年 3 月
- 38) 河村公隆, 野崎義行 共編：大気・水圏の地球化学 (地球化学講座 6), p. 60, 培風館, 2005

(2009. 5. 22 受付)

Nitrogen balance in the upper basin of Tone river including atmospheric deposition

Kenji SAKAI¹, Hajime KUBOTA¹, Seiji KAMIOKA², Shougo NAKAMURA¹
and Taku WATANABE³

¹Foundation of River & Watershed Environment Management

²Pacific Consultants Ltd.

³Nissuicon Ltd.

Nitrogen balance in the upper basin of Tone river was estimated by basic unit method including atmospheric deposition. Nitrogen balance of emission and deposition in the atmosphere was also estimated. From the data of point sources, agricultural activities, livestock wastes, mileage of automobile and atmospheric deposition mainly in 2005, the input & the output of nitrogen in the basin and in the atmosphere were calculated.

28% of the input to the basin was brought from the atmosphere. This ratio is nearly the same as the ratio of fertilizer of livestock wastes, and larger than the ratio of point sources. 39 % of the input was captured in the river at the exit of the basin. The difference between the input and the output was equal to 38 % of the input, and it is thought to be caused by the accumulation in the basin or unknown sources.

Concerning nitrogen balance in the atmosphere, the input exceeded the output, whereas the output exceeded the input in the case of NO_x & NO₃-N. For NO_x, other sources of emission or transportation from the exterior of the basin should be considered.