

(12) 主成分分析を用いた窒素飽和状態の溪流の検出

川上 智規^{1*}・能登 勇二¹・青井 透²・宮里 直樹²・森 邦広³

¹富山県立大学 短期大学部 環境システム工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

²群馬工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580 番地)

³登山家 (〒379-1305 群馬県利根郡みなかみ町後閑29-6)

* E-mail: kawakami@pu-toyama.ac.jp

窒素飽和は大気からの過剰な窒素化合物の沈着により引起こされ、陸水の富栄養化や酸性化、森林の衰退をもたらすと考えられている。しかしながら、陸水が窒素飽和状態にあるかどうかを判断するためには、集水域における窒素の収支を測定しなければならないなど困難な面が多い。そこで本研究では、人為的汚染の無い溪流を対象に、それらの溪流が窒素飽和状態にあるかどうかを判断することを目的として、主成分分析等の多変量解析を適用した。富山県内95箇所、群馬県内10箇所の渓流水の水質データのうち、pH、電気伝導度、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、Acid Neutralizing Capacity (ANC)の10項目を用いて解析を行った結果、第2主成分Z2 - 第3主成分Z3平面上に窒素飽和と区分境界線を設定することができ、この境界線より下の領域に位置する渓流水は窒素飽和であると考えられた。この境界線により「窒素飽和」に区分された溪流は、そのすべてが実際に窒素飽和状態であった。一方、「非窒素飽和」と区分された溪流であってもこの区分境界線近くにプロットされる溪流は窒素飽和状態に近づいている可能性が示唆された。

Key Words : nitrogen saturation, forested stream, principal component analysis

1. はじめに

近年の肥料製造や、化石燃料の燃焼に伴う NO_x の発生などによる人為的な窒素固定量は全世界で年間約 160 Tg N/yr と推定され、その量は天然の窒素固定量の 2 倍にも達するとされている¹⁾²⁾。2005 年にチェコで開催された国際酸性雨学会においても窒素化合物の沈着による生態系への影響が主要な議論となった³⁾。このような窒素化合物の過剰な沈着による影響のひとつとして注目されているのが窒素飽和現象である。窒素飽和現象とは、大気から森林への窒素化合物の沈着量が、森林生態系に

において必要とされる窒素量を上回る状態と定義されている⁴⁾。窒素飽和状態が進行した状態では、森林生態系から土壌溶液中に放出された硝酸イオンが渓流水に流出し、陸水の富栄養化や酸性化を引き起すと考えられている⁵⁾⁶⁾ことから、国内においても新たな環境問題として認識されるようになってきた⁷⁾⁸⁾。Aber らは窒素飽和の進行の程度を森林生態系の応答に従って表 1 に示すように、ステージ 0 からステージ 3 の 4 つに区分し定義した⁹⁾。また、Stoddard は Aber らの定義にならい、渓流水の水質の年間の変動特性から同じようにステージ 0 からステージ 3 の 4 つの区分を定義した⁹⁾。ステージ 0 は Aber らによ

表 1 窒素飽和の進行による各ステージと森林生態系ならびに渓流水水質の応答

	森林生態系の応答 (Aber ら, 1989) ⁴⁾	渓流水水質の応答 (Stoddard, 1994) ⁹⁾
ステージ-0	窒素制限の健全な森林	硝酸イオン濃度は年間を通して低い
ステージ-1	葉のバイオマスが増加	冬期のみ高い硝酸イオン濃度が観測される。
ステージ-2	窒素飽和状態 土壌からの硝酸イオンの流出 細根の大幅な減少	硝酸イオン濃度の季節変化が見られなくなる
ステージ-3	窒素の流出量 > 窒素の沈着量 森林の衰退	硝酸イオン濃度の季節変化が見られなくなるうえ、非常に高濃度の硝酸イオンが観測される。

ると窒素が成長制限因子となっている健全な森林である。Stoddard の定義によると渓流水にはほとんど硝酸イオンは流出しない。樹木による窒素の吸収が少ない冬期にわずかに流出する程度である。ステージ1では窒素沈着量の増加に伴って、森林の成長が促進される。渓流水では冬期の硝酸イオン濃度がステージ0より高濃度になると同時に、夏期の低濃度の期間が短くなる。ステージ2は森林が必要とする以上の窒素が供給される窒素飽和状態で、森林の成長制限因子が窒素ではなくなる。土壌から硝酸イオンの流出が始まり、渓流水ではこれまで見られていた硝酸イオン濃度の季節変化が見られなくなる。ステージ3では細根量の減少などにより、森林の衰退が始まる。森林が衰退することによりバイオマスが減少し、バイオマスに含まれる窒素が流出することによって、さらに土壌中の窒素濃度が上昇する。渓流では高濃度の硝酸イオンが常時観測されるようになり、降雨などによる森林への窒素沈着量を上回る窒素が森林生態系から流出するとされている¹⁰⁾¹¹⁾。

これらの定義に従うと、渓流水の水質変化から窒素飽和のステージを判断することが可能であるが、一方、大類らは、降雨の年間のパターンがヨーロッパと日本では異なることから、日本では窒素濃度の季節変化が生じにくく窒素飽和の指標とはならないとしている¹²⁾¹³⁾。結局、渓流水や地下水への窒素の流出量が窒素沈着量を上回ることが最も確実なステージ3の指標となる。しかしながら、窒素沈着量を把握するにしても複数年にわたる平均値を知る必要があり、測定には多くの労力を必要とする。また、地下水への流出量は測定が極めて難しいうえ、渓流水への流出量は、窒素濃度の変動と流量の変動を連続的に測定し考慮しなければならないなど、多くの困難が伴う。また、ステージ3より早い段階での窒素飽和を検出する手法も必要である。

本研究では、国内の渓流水において、10 項目の渓流水の水質データを用い、窒素飽和の診断が可能となるように、主成分分析等の多変量解析法による渓流水質の評価と窒素飽和の診断方法の開発を試みた。

2. 対象とした流域

解析には人為的汚染が無いと考えられる富山県内95箇所と、群馬県内の利根川上流域の10箇所の渓流水の水質を用いた(表2)。このうち、富山県の呉羽丘陵の渓流12箇所はいずれも6mg-NO₃-lを超える高濃度の硝酸イオンが流出しており¹⁴⁾¹⁵⁾、窒素の流出が沈着量を上回っていることからステージ3の窒素飽和状態にある渓流として扱った¹⁶⁾。非窒素飽和の渓流水として、富山県内で

2003年にサンプリングを実施した人為的汚染の無い83箇所の渓流水の水質データを用いた。

群馬県の利根川上流部では広範囲にわたって高濃度の硝酸イオンが観測されている。利根川水系では、鐺川支流(東谷、大沢川、雄川、道平川)、碓氷川支流(中木川2箇所)、湯檜曾川支流(一ノ倉沢2箇所、マチガ沢2箇所)の計10地点を対象とした。これらのうち、特に高濃度の大沢川最上流部ならびに大沢川支流の東谷をステージ3の窒素飽和状態とした。また、湯檜曾川の一ノ倉沢やマチガ沢では樹林帯を集水域に持つ渓流と、岩石帯を集水域に持つ渓流が流下しているが、このうち樹林帯を流下する渓流水をステージ3の窒素飽和状態として扱った。一般的には森林が窒素成分を吸収するため、樹林帯を通過する渓流水の方が硝酸イオン濃度は低くなるはずであるが、一ノ倉沢やマチガ沢では逆に高くなっていることから¹⁷⁾¹⁸⁾、森林生態系が窒素の供給源となっており、ステージ3の窒素飽和状態にあると判断した。

群馬県におけるこの4箇所以外の渓流水でも硝酸イオン濃度は2.5mg-NO₃-l~6mg-NO₃-lと比較的高く、窒素飽和が疑われるものの、降雨のデータが存在しないため、窒素飽和であるかどうか、あるいはそのステージについては現状では判断が困難である。

表3に、ステージ3の窒素飽和状態として扱った、呉羽丘陵の12箇所の渓流のひとつである百牧谷、ならびに利根川水系の大沢川、一ノ倉沢樹林帯の水質を示す。百牧谷と大沢川では硝酸イオン濃度が非常に高い。一ノ倉沢では硝酸イオン濃度の絶対値は前者ほどではないが、溶存成分中に占める硝酸イオンの割合は高い。

なお、呉羽丘陵の渓流水は流量により水質が大きく変動するが、年間の平均的な水質に相当する2006年5月

表2 対象とした渓流水

	河川名	対象地点	窒素飽和
富山県	呉羽丘陵	12 箇所	○
	その他	83 箇所	×
群馬県 利根川 水系	鐺川支流	東谷(HI)	○
		大沢川(OH)	○
		雄川(O)	△
		道平川(AF)	△
	碓氷川 支流	中木川支流2ヶ所 (NB, NE)	△
	湯檜曾川 支流	一ノ倉沢岩石帯(II)	△
		一ノ倉沢樹林帯(IS)	○
		マチガ沢岩石帯 (MMK)	△
		マチガ沢樹林帯 (MLK)	○

○：窒素飽和化が確認された渓流

△：窒素飽和化が疑われる渓流

×：非窒素飽和渓流

表3 窒素飽和状態の渓流水の水質

	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	ANC ⁴
		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μeq/l
呉羽丘陵 ¹ (2006.5.15)	4.9	72	5.6	1.4	2.0	1.9	9.1	8.5	8.4	-15
大沢川 ² (2006.7.29)	7.7	174	2.2	3.7	3.7	26.7	4.2	24.8	14.6	917
一ノ倉沢 ³ (2006.8.25)	6.9	20	1.4	0.3	0.7	1.7	1.4	2.2	1.2	105

1: 富山市呉羽丘陵百牧谷 (36° 41' 26" N, 137° 09' 07" E)

2: 大沢川 (36° 12' 40" N, 138° 58' 32" E)

3: 湯檜曾川一ノ倉沢樹林帯 (谷川岳標高 870m 地点, 36° 50' 49" N, 138° 56' 32" E)

pH: ガラス電極法による。

4: Acid Neutralizing Capacity : Gran's plot 法による。

Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻: イオンクロマトグラフ法による。

15 日のデータを主成分分析に用いた。その後、得られた第2主成分 Z₂、第3主成分 Z₃ の Z₂-Z₃ 平面上に、流量が多く、硝酸イオン濃度が高かった 2006 年 3 月 17 日あるいは 7 月 25 日のデータをプロットし、解析結果の安定性を検証した。その時の百牧谷における硝酸イオン濃度はそれぞれ、11.0、11.3mg-NO₃/l であった。

3. 解析方法

解析には群馬県内の利根川上流の溪流 10 箇所、富山県内の溪流 95 箇所の pH、電気伝導度 (EC)、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Acid Neutralizing Capacity (ANC) の 10 水質項目を用いた。ANC は一般の陸水では炭酸水素イオン濃度から水素イオン濃度を差引いたものと定義され、次式で与えられる^{19),20)}。

$$ANC = [HCO_3^-] - [H^+] \quad (1)$$

アルカリ度と異なり、ANC は負の値もとるため、酸性化が進行している渓流水を対象とした解析にも有効である。ANC は Gran's plot 法を用いて測定した。

なお、EC を除いた 9 項目に関して、陽イオンの合計と陰イオンの合計を比較すると、陽イオンが平均で 5% 多いのみであり、イオンバランスは良好であった。

群馬県内の溪流 4 箇所と富山県の呉羽丘陵の溪流 12 箇所の合計 16 箇所が窒素飽和溪流である。その他の富山県内の溪流は非窒素飽和溪流、群馬県内の溪流は前章で述べたように窒素飽和が疑われる溪流である。

主成分分析は、各主成分の固有値が 1 以上のものについて、因子負荷量に基づき解釈することとした。また、固有値が 1 以上となる第 m 主成分までの累積寄与率は 60 ~ 80% 以上になる場合の結果を採用することとした²¹⁾。各水質項目の大きさや単位が異なるため、それぞれの平

均値、標準偏差を用いて基準化した変数にした後、解析を行った。ここでは、用いた 10 水質項目による主成分分析で、固有値が 1 以上の第 3 主成分までの累積寄与率は約 80% となることから、その結果を示した。さらに、窒素飽和溪流と非窒素飽和溪流を目的変数とした判別分析により、溪流が窒素飽和であるかいないかの判別を試みた。

なお、主成分分析、判別分析には STATISTICA Pro 98 (stattsoft ジャパン製) を用いた。

4. 結果と考察

(1) 主成分分析

主成分分析の結果は、固有値が 1 以上となった第 1 主成分 Z₁ から第 3 主成分 Z₃ までの各水質項目の因子負荷量について表 4 に示した。第 3 主成分までの累積寄与率は 80.3% であり、第 3 主成分まで解釈した。

第 1 主成分の因子負荷量は、EC が 0.988 でもっとも大きく、さらに ANC、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ が 0.6 以上、そのほかの項目もすべて正の値となっている。したがって、

表 4 各水質項目の因子負荷量

主成分	Z ₁	Z ₂	Z ₃
固有値	4.39	2.32	1.32
累積寄与率	43.9%	67.2%	80.3%
pH	0.537	-0.589	0.388
EC	0.988	0.020	0.061
Na ⁺	0.499	0.670	0.470
K ⁺	0.474	0.567	-0.320
Ca ²⁺	0.793	-0.515	-0.099
Mg ²⁺	0.776	-0.040	-0.192
Cl ⁻	0.416	0.782	0.349
NO ₃ ⁻	0.330	0.190	-0.799
SO ₄ ²⁻	0.694	0.212	-0.140
ANC	0.814	-0.494	0.113

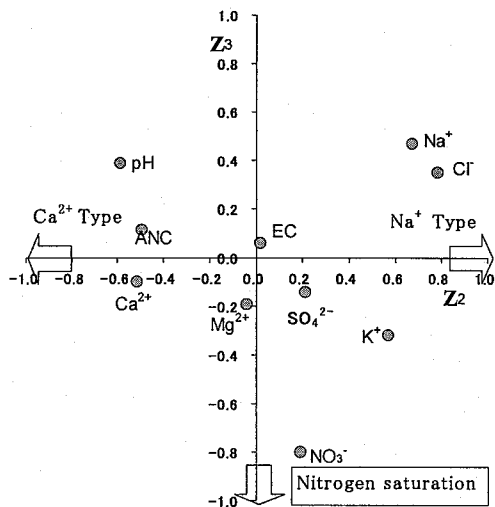


図1 各水質項目の因子負荷量の第2主成分 Z₂—第3主成分 Z₃ 平面上へのプロット。

第1主成分は、イオン総量の大きさを表す因子と考えられる。

第2主成分の因子負荷量は、Cl⁻、Na⁺ が0.6以上で正の大きな値となり、次いで K⁺ が正の値となっている。負の値となる因子負荷量は、pH、Ca²⁺ が-0.5を下回る値となり、次いで ANC となっている。したがって、第2主成分は主たる陽イオンが Na⁺ であるか、Ca²⁺ であるかという水質の型を表す因子となっている。

第3主成分の因子負荷量は、NO₃⁻ が負で-0.799 と大きな値となり、正では Na⁺ と pH がやや大きな値となっている。したがって、第3主成分は NO₃⁻ 濃度の大きさに関わる因子と推測される。

以上のように、富山県、群馬県の溪流河川の水質はここで用いた10水質項目の範囲ではほぼ3つの因子に集約することができた。

(2) 主成分因子得点による窒素飽和溪流の分離

主成分分析における第2主成分 Z₂、第3主成分 Z₃ がそれぞれの溪流水質の主なる陽イオンの型、NO₃⁻ 濃度の大きさを表すと推定されることから、改めて第2主成分 Z₂—第3主成分 Z₃ 平面上に、各水質項目の因子負荷量をプロットすると図1のようになる。したがって、Z₂—Z₃ 平面上に因子得点をプロットすることにより、各溪流水質の主なる陽イオンの型と窒素飽和度を評価することが可能となることが示唆された。

図2は、各溪流の第2主成分 Z₂、第3主成分 Z₃ の Z₂—Z₃ 平面上の因子得点を表したものである。窒素飽和とみなされる群馬県内と呉羽丘陵の溪流のほとんどの地点が Z₃ の負の領域にプロットされた。利根川水系鍬川支流の大沢川や東谷(図2中の記号 OH ならびに HI)や富

山県呉羽丘陵の溪流の一部では Z₃ 値が負で大きくなっている。また、非窒素飽和とみなされる富山県内の溪流の Z₃ 値は正の領域にプロットされる地点が多い。さらに、大沢川(OH)は Z₂ が負の領域に、呉羽丘陵溪流は Z₂ が正の1以上の領域にプロットされる地点が多く、共にステージ3の窒素飽和溪流ではあるが水質の型がそれぞれ Ca²⁺ 型と Na⁺ 型という様に異なっていることがわかる。

湯檜曾川支流の一ノ倉沢(LI: 岩石帯、LS: 樹林帯)、マチガ沢(MMK: 岩石帯、MJK: 樹林帯)の4箇所は、Z₂—Z₃ 平面上でほぼ同じ位置を占めている。また、鍬川支流の雄川(O)、道平川(AF)、碓氷川支流中木川(NB, NE)も Z₂—Z₃ 平面上でほぼ同じ位置を占めている。地理上の位置に近い箇所が Z₂—Z₃ 平面上でほぼ同じ位置を占めることは、溪流水質が自然的・地理的要因に支配されていることを示している。

また、Z₃ 因子得点が窒素飽和溪流と非窒素飽和溪流により大きく異なる箇所が多いことより、Z₃ 因子得点により窒素飽和溪流と非窒素飽和溪流を区分することが考えられるが、図2では呉羽溪流の2地点で Z₃ 因子得点は正の値となり、富山県内の非窒素飽和溪流でも Z₃ 因子得点が負の値となる地点がある。そこで、説明変数として Z₁、Z₂、Z₃ 因子スコアを用いて判別分析を行った。判別分析は STATISTICA Pro 98 (スタットソフトジ

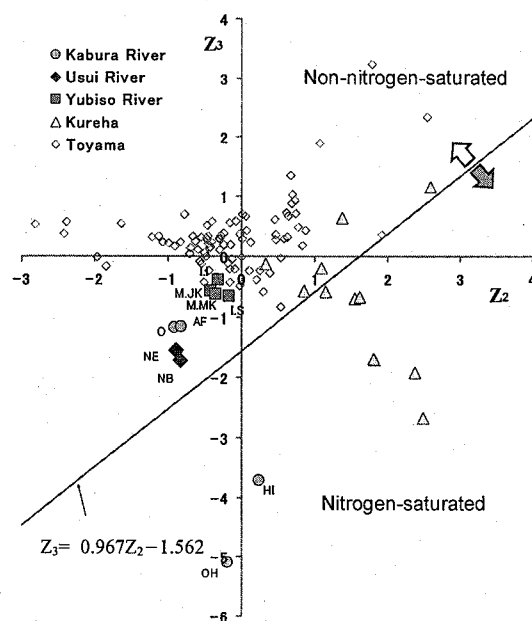


図2 各溪流の第2主成分 Z₂、第3主成分 Z₃ の Z₂—Z₃ 平面上の因子得点

OH: 大沢川, HI: 東谷, O: 雄川, NB, NE: 中木川, AF: 道平川, LI: 一ノ倉沢岩石帯, LS: 一ノ倉沢樹林帯, MMK: マチガ沢岩石帯, MJK: マチガ沢樹林帯

ジャパン製)を用いてステップワイズ判別分析を行い、判別に有効な変数を絞り込み、分類関数を求めた。

判別分析の結果、説明変数として Z_2 、 Z_3 因子スコアが採択され、分類関数として窒素飽和 N_s 、非窒素飽和 NN_s について次の2式が得られた。

$$N_s = 2.2908Z_2 - 2.3680Z_3 - 4.6176 \quad (2)$$

$$NN_s = -0.4118Z_2 + 0.4257Z_3 - 0.2538 \quad (3)$$

ここで $N_s > NN_s$ の場合に窒素飽和と判定される。このことから、(2)、(3)式より

$$Z_3 = 0.967Z_2 - 1.562 \quad (4)$$

が、 Z_2 – Z_3 平面上での窒素飽和溪流と非窒素飽和溪流を区分する境界となり、これを図2に窒素飽和区分境界線として示した。 Z_2 – Z_3 平面上でこの境界線の上下で窒素飽和溪流と非窒素飽和溪流を分けると、的中率(判別分析によりどの分類に属するかを正答する割合)は、窒素飽和溪流では56%で、図2にみられるように呉羽丘陵の溪流の5地点を含め、窒素飽和溪流の何点かが窒素飽和区分境界線の上に位置している。しかし、それらの多くは境界線近傍にある。一方、非窒素飽和溪流の的中率は100%で、すべて区分境界線の上にプロットされている。非窒素飽和溪流については、ほぼ窒素飽和区分境界線の上の領域にプロットされると考えられる。

次に、呉羽丘陵の溪流12地点の他の調査日の水質についても、(1)の主成分分析で得られた固有ベクトル等を用い Z_2 、 Z_3 因子スコアを求め、 Z_2 – Z_3 平面上にプロットした(図3)。2006年3月17日(Kureha 060317)と

2006年7月25日(Kureha 060725)のそれぞれの12地点は、すべてが Z_2 – Z_3 平面上の窒素飽和区分境界線より下の領域にプロットされ、窒素飽和溪流であることを示しており、同じ水系であれば水質の変動にあまり影響されず、安定な区分が可能であることを示している。

以上のように、主成分分析より得られた第2主成分 Z_2 – 第3主成分 Z_3 平面上の窒素飽和区分境界線より下の領域にプロットされる溪流は窒素飽和溪流と考えてよいであろう。ただし、この窒素飽和区分境界線は窒素飽和としては重度のステージ3とみなされる溪流水の水質から得られたものであり、窒素飽和の進行が進んだ溪流が区分されることに注意する必要がある。また、窒素飽和は次第にステージが進行していくものであり、この区分境界線に近づくということは、重度の窒素飽和に近づいている状態を示しているものと考えられる。ただし、主成分分析の再現性については、さらに多くの試料により検証を重ねていく必要がある。

5. まとめ

溪流の窒素飽和の診断には、降雨によりもたらされる窒素沈着量や、溪流水の窒素濃度の変動と流量の変動を連続的に測定し考慮しなければならないなど、多くの困難が伴う。そこで10項目の溪流水の水質データを用い、窒素飽和の診断が可能となるように、主成分分析等の多変量解析法による溪流水質の評価と窒素飽和の診断方法の開発を試み、以下のような結果が得られた。

- 1) 主成分分析の結果、溪流水質は、第1主成分はイオン総量の大きさを表す因子、第2主成分は水質が Na^+ 型であるか、 Ca^{2+} 型であるかを表す因子、第3主成分は NO_3^- 濃度の大きさに関わる因子の3つの因子に集約することができた。
- 2) 第2主成分 Z_2 – 第3主成分 Z_3 平面上に、各溪流の因子得点をプロットすることにより、各溪流の窒素飽和度を評価することが可能である。
- 3) 説明変数として Z_1 、 Z_2 、 Z_3 因子スコアを用いた判別分析の結果、 Z_2 、 Z_3 因子が採択され、第2主成分 Z_2 – 第3主成分 Z_3 平面上に窒素飽和区分境界線を設定した。窒素飽和区分境界線より下の領域にプロットされる箇所はほぼ窒素飽和溪流と診断された。また、この境界線より上の領域にあっても、境界線に近づくにつれて窒素飽和状態が進行しているという診断に用いることが可能であると考えられた。

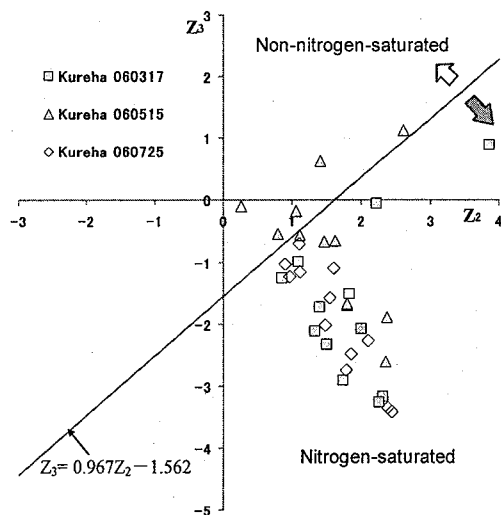


図3 他の窒素飽和溪流の第2主成分 Z_2 、第3主成分 Z_3 の Z_2 – Z_3 平面上の因子得点

謝辞：本研究の一部は財団法人鹿島学術振興財団研究助成金の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) Galloway, J. N., E. B. Cowling, S. P. Seitzinger and R. H. Socolow: Reactive nitrogen: Too much of a good thing?, *AMBIO*, 31(2), 60-63, 2002.
- 2) Zheng, X., C. Fu, X. Xu, X. Yan, Y. Huang, S. Shenghui, F. Hu and G. Chen: The Asian Nitrogen Cycle Case Study, *AMBIO*, 31(2), 79-87, 2002.
- 3) Conference Abstracts of 7th International Conference on Acid Deposition, Czech Hydrometeorological Institute, edited by Iva Hünová, 2005.
- 4) Aber, J. D., K. J. Nadelhoffer, P. Steudler, and J. M. Melillo: Nitrogen Saturation in Northern Forest Ecosystems. *BioScience*, 39(6), 378-386, 1989.
- 5) Smith, V. H., Tilman, G. D. and Nekola, J. C.: Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environ. Pollut.* 100, 179-196, 1999.
- 6) Church, M. R. and J. V. Sickle: Potential relative future effects of sulfur and nitrogen deposition on lake chemistry in the Adirondack Mountains, United States, *Water Resources Research*, Vol. 35, No. 7, 2199-2211, 1999.
- 7) 楊宗興, 木平英一, 武重祐史, 杉山浩史, 三宅義則: 渓流水の NO_3 濃度と森林の窒素飽和, *地球環境*, Vol. 9, No. 1, 29-40, 2004.
- 8) Shibata, H., K. Kuraji, H. Toda, and K. Sasa: Regional Comparison of Nitrogen Export to Japanese Forest Streams, *TheScientificWorld*, 1(S2), 572-580, 2001.
- 9) Stoddard, L. J.: 'Long-Term Changes in Watershed Retention of Nitrogen, in L. A. Baker (ed.)', *Environmental Chemistry of Lake and Reservoirs, Adv. Chem. Ser.*, 237, 223-284, 1994.
- 10) McNulty, S. G., J. D. Aber and S. D. Newman: Nitrogen Saturation in a high elevation New England spruce-fir stand, *Forest Ecology and Management*, 84, 109-121, 1996.
- 11) Aber, J., McDowell, W., Nadelhoffer, K., Magill, A., Bernston, G., Kamakea, M., McNulty, S., Currie, W., Rustad, L., and Fernandez, I.: Nitrogen Saturation in Temperate Forest Ecosystems Hypotheses revised, *BioScience*, 48 (11), 921-934, 1998.
- 12) 大瀬清和, 生原喜久雄, 相場芳憲: 森林小集水域における渓流水質に及ぼす諸要因の影響, *日林誌*, 76(5), 383-392, 1994.
- 13) Ohri, K., and M. J. Mitchell: Nitrogen Saturation in Japanese Forested Watersheds, *Ecological Applications*, 7(2), 391-401, 1997.
- 14) 朴木英治: 呉羽丘陵の水質, 富山市呉羽丘陵自然環境調査報告 245-253, 1994.
- 15) 川上智規, 朴木英治: 富山県の呉羽丘陵に見られる硝酸イオンの流出による渓流水の酸性化, *環境科学会 1999 年年会講演要旨集*, 56-257, 1999.
- 16) Honoki, H., Kawakami, T., Yasuda, H., and Machara, I.: Nitrate Leakage from Deciduous Forest Soils into Streams on Kureha Hill, Japan. *TheScientificWorld*, 1(S2), 548-555, 2001.
- 17) 青井透: 谷川岳及び最上流域利根川本川・各支川の水質, *環境施設*, No. 86, 82-88, 2001.
- 18) 森邦弘, 青井透, 安部聡, 池田正芳: 谷川岳を含む利根川最上流から利根大堰までの栄養塩濃度の推移と流出源の検討, *環境工学論文集*, Vol. 39, 235-246, 2002.
- 19) Baker, L. A., P. L. Brezonik and E. S. Edgerton: Sources and Sinks of Ions in a Soft Water, Acidic Lake in Florida, *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 5, 715-722, 1986.
- 20) National Acid Precipitation Assessment Program: NAPAP Report No. 9: Acidic Deposition, State of Science and Technology: Current Status of Surface Water Acid-Base Chemistry, Washington D.C., 1991
- 21) 奥野忠一, 久米均, 芳賀敏郎, 吉澤正: 多変量解析法, *日科技連*, 159-257, 1971.

(2007.5.25 受付)

A Principal Component Analysis to Detect Nitrogen-saturated Streams

Tomonori KAWAKAMI¹, Yuji NOTO¹, Toru AOI², Naoki MIYAZATO² and Kunihiro MORI³

¹Dept. of Environmental Systems Engineering, Toyama Prefectural University

²Dept. of Civil Engineering, Gunma National College of Technology

³Alpinist

A principal component analysis was applied to water qualities of stream water to detect nitrogen saturation. Ten physicochemical compositions, such as pH, electric conductivity and ion concentrations including nitrate, were introduced to the analysis. Sixteen nitrogen-saturated streams and 83 non nitrogen-saturated streams collected from Toyama and Gunma prefectures were tested for discrimination between nitrogen saturation and non-nitrogen saturation. The analytical result showed that nitrogen-saturated stream could be discriminated from non-nitrogen-saturated stream by a discrimination line on the axes of a secondary principal component (Z₂) and a tertiary principal component (Z₃). Meanwhile, some nitrogen-saturated streams were classified into non-nitrogen saturated stream. This might be because the data of stage-3 of nitrogen saturation, the deepest stage of nitrogen saturation, were used to establish the discrimination line. The streams plotted close to the discrimination line, even on non-nitrogen-saturated zone, could be approaching to nitrogen saturation.