

菅平湿原における地表水の硝酸濃度と土地利用の関係

Nitrate Concentration of Surface Water and Land Use in Sugadaira Wetland

岩上 翔*・田中 正**・呉羽 正昭*・兼子 純*・三木田 慎*

Sho IWAGAMI*, Tadashi TANAKA**, Masaaki KUREHA*,
Jun KANEKO* and Makoto MIKITA*

Abstract

Sugadaira area is known as intensive agriculture and recent development of tourist business. The influence of agriculture and changing of land use to the water quality of the surface water is of great interest. Generally, the water quality of the surface water is reflecting the land use, however, it is rare to conduct the land use survey and hydrological survey at once. Also wetland is known to have denitrification function. Thus, both land use survey and hydrological survey were conducted in Sugadaira wetland, Nagano Prefecture on 30 Oct 2009, especially focusing on the relationship between land use and nitrate concentration of surface water.

New land use map around Sugadaira wetland have updated. Thirteen samples were taken from Sugadaira river (4 of them were taken from main stream and 9 of them were taken from tributaries). Tributaries which do not pass through the agricultural area showed low NO_3^- concentration around 10 mg/L. The NO_3^- concentration of the tributaries which have path through the agricultural area showed high value up to 110.6 mg/L. At the main stream, denitrification have observed; NO_3^- concentration declined from 47.2 mg/L to 23.1 mg/L by path through from upstream to downstream of the wetland instead of the contribution of tributaries with high NO_3^- concentration.

1 はじめに

菅平高原は長野県上田市北部標高 1250~1400 m に位置し、東部の四阿山・根子岳の過去の火山活動によってできた十ノ原と呼ばれる火山斜面と西部の湿地を中心とした菅平盆地から成る。菅

平盆地の湿地は四阿山の噴火によって堰き止められて出来た堰止湖が陸地化したものである。この地域ではレタスを中心とした高原野菜が集約的に栽培され、高原の北側にはスキーゲレンデが広がっており高冷地農業と観光業が卓越している。近年では農地からグラウンドへと土地利用が変化

* 筑波大学大学院生命環境科学研究科

** 筑波大学国際部

する様子も見られ、排水用の水路の整備・下水道の整備が進むのに伴って湿地の乾燥化が進んでいる。

菅平地域の土地利用に関してその歴史や特徴について上江洲ほか（2003）では菅平高原における高冷地野菜栽培の特色やキャベツ栽培、ハクサイ栽培などを経て1980年代以降にはレタス栽培に特化するまでの過程について詳しく述べられている。また新藤ほか（2003）では観光形態に注目し、1980年代以降における、観光の主体が冬季のスキーから夏季のラグビー・サッカー・陸上に移行した観光形態の特徴や土地利用の変遷について詳しく述べられている。

土壤環境について藤野・松本（1992）では近年の大型農業機械を導入した野菜の単一栽培によって土壤侵食が加速したことが述べられている。また日雨量100mm程度の雨が数年に一度発生し、その際に土砂の侵食が激しく起こることも指摘されている。土壤侵食量の増加は湿原内の河床の上昇、水位の上昇や隣接する農地の冠水を引き起こし、この事態を受けて1987年に大規模な排水溝掘削工事が行われた。その経緯と排水溝掘削工事によってもたらされた湿原の植生の変化については桜井（1988）に述べられている。

過去の水文学的調査としては古くは東浦・小林（1967）による湧水の調査があり、古藤田・田瀬（1992）では水収支について、宮下・田瀬（1993）、鈴木ほか（1993）では地下水流動系について酸素安定同位体比や一般水質組成から示している。集約的な農業による過剰施肥やスキー場等における土壤侵食対策を目的とした堆肥の施用、家畜排泄物による河川水等の硝酸汚染が問題となっており、田瀬（1995）では、菅平地域の農業系物質の動態を調査し、地下水・湧水・河川水における NO_3^- 濃度および一般水質の空間分布と季節変化を示している。桜井・中本（1982）や古藤田・柘植（1989）では菅平高原における流出特性と融雪期の窒素流出量について報告しており、窒素流出

量が融雪期に非常に多く、それらの窒素は農耕地に施された肥料が浅層地下水を經由して流出したものであることを示している。またそれらの浅い流動系における帯流時間は5～10年程度と推定されている（鈴木ほか、1993）。PCNB（伏脇ほか、1994）やD-D（阿部、1992）などの農薬やその分解代謝物質等の動態についても調査が行われており、農業系物質の動態から複雑な地下水流動経路が示唆されたが、その全貌は未だ明らかにされていない。

水路の整備が進むことによって人為起源の硝酸負荷が河川や湿地に集約することが懸念されている一方で、湿地は独自の物質循環を有し水質浄化機能（脱窒作用）を持つことも知られており（田瀬、1995）、地表水の水質が土地利用と密接に関係があると考えられる菅平高原においては、地表水の水質や水質浄化機能の実態は土地利用と照らし合わせて議論することが重要である。

II 目的

本調査は菅平盆地の湿地部周辺（菅平湿原）において2009年10月現在における土地利用と地表水の NO_3^- 濃度の実態を示し、それらの関係を明らかにすることを目的として行った。

III 調査地域の概要

菅平湿原は地元農家の草刈場として利用されてきたが、近年は湿原流域の山地斜面の数個所にスキーゲレンデが開設されているほか平坦部には100haを越える農地があり、球技グラウンド・テニスコート・ペンション等も多い。菅平湿原の植生は、ハルニレ群団に属する湿生林植物社会とヨシ群団に属する低層湿原から成り、ハルニレ・ヤチダモ・ハンノキ等の疎林とスゲ類を主とする湿性草原が交錯している。

気象庁 AMeDAS データ（菅平観測所：標高

1253 m)における1999～2008年の10年間の年平均気温は6.7℃、年降水量は1161.1 mmである。冬季の降雪はほとんど降雪で同じ10年間の平均最深積雪は104.5 cmである(気象庁ホームページ)。

菅平湿原の中央を南東に向かって流下する菅平川は、根子岳・四阿山から流れる唐沢・大明神沢・中之沢などの溪流の水を順次集めてやがて千曲川へと至る。またこの地域には数多くの湧水が存在している。菅平川を中心とした菅平流域は流域面積37.4 km²である。河川流量は菅平ダムで観測されており、流量は融雪期である4月に多く、梅雨期や台風期も多い傾向を示す。

IV 調査方法

現地調査は2009年10月30日に実施した(午前:採水・水質調査, 午後:土地利用調査)。採水は湿地帯中央を流下する菅平川において本流・支流合わせて13地点で行った。水サンプルは100 mlのポリエチレンボトルに採水し、菅平実験センターにおいてNO₃⁻濃度のみパックテスト(共立理化WAK-NO₃)を用いて測定を行い、残りは筑波大学に持ち帰って実験室において測定を行った。パックテストはNO₃⁻濃度に関して判別できる上限が45 mg/Lの測定値を目測で判別するものであり、現地において大体の値を把握するために用いた。実験室における測定項目と使用した機器はそれぞれHCO₃⁻(硫酸滴定)、Cl⁻・NO₃⁻・SO₄²⁻(島津イオンクロマトグラフHIC-10Asuper)、Na⁺・K⁺・Mg²⁺・Ca²⁺(プラズマ発光分光分析ICAP-757v, Nippon Jarrell-Ash)である。土地利用調査は2002年に行われた土地利用調査の結果(筑波大学地球科学系人文地理学研究グループ, 2003)を元にし、元となる土地利用図との相違を記載する形で行った。

なお、以上の調査は平成21年度筑波大学大学院生命環境科学研究科開設・地球環境科学特別野

外実験Iの一環として実施された。

V 結果と考察

1. 土地利用調査結果

調査地域の位置と今回の土地利用調査によって得られた土地利用図を第1図に示す。土地利用に大きな変化は見られず、湿地周辺には多くの農地が分布しており、グラウンド等のスポーツ施設は菅平川沿いに多く集中し、住宅地などは菅平川から少し離れて分布している。大筋で2002年に行われた土地利用調査の結果から変化していないが、農地が新たにグラウンドとなった場所やグラウンド面積が拡張した場所が見受けられた。農地においては作物の収穫後時間が経っており、作物が何であったか推定できない場合も多く見受けられた。また菅平高原自然館周辺の湿地遊歩道周辺で地表水が見られないなど、湿地の乾燥化も確認された。

2. 水質調査結果

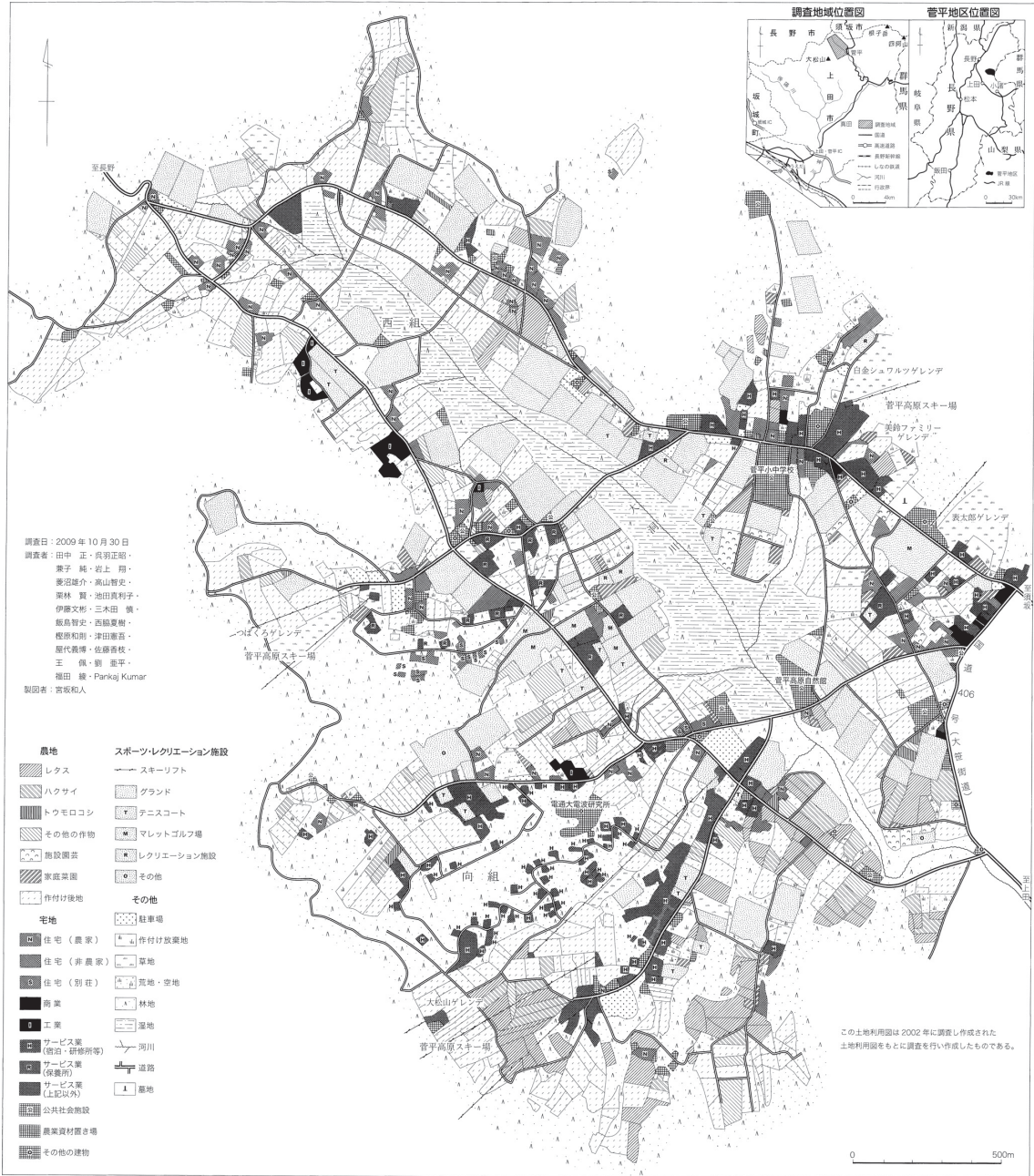
水質分析結果を第1表にまとめて示す。NO₃⁻濃度について、パックテストによる測定値とイオンクロマトグラフによる測定値を比較して第2図に示す。また採水地点と各採水地点における水質をヘキサダイアグラムで空間分布を示したものが第3図である(ヘキサダイアグラムにおけるNO₃⁻濃度はイオンクロマトグラフによる測定値を使用)。

第2図よりNO₃⁻濃度についてパックテストとイオンクロマトグラフでは値に差があり、イオンクロマトグラフによる測定値の方がパックテストによる値に対して約1.5倍程度高い値を示すものの、傾向は概ね一致している。地点2-2のNO₃⁻濃度はパックテストでは45 mg/L以上となり判別できず、イオンクロマトグラフでは110.6 mg/Lとなった。以下の議論ではNO₃⁻濃度はイオンクロマトグラフから得られた値で議論する。

NO₃⁻濃度の環境基準値はNO₃-Nとして10 mg/L (NO₃⁻濃度として44.2 mg/L)なのでイオンクロマトグラフによる測定結果からすると地点

1-2, 1-4', 1-5, 2-2, 2-5の5地点が環境基準値を超えている結果となった(地点1-2, 1-4', 1-5, 2-2, 2-5の5地点におけるNO₃⁻濃度はそれぞれ、

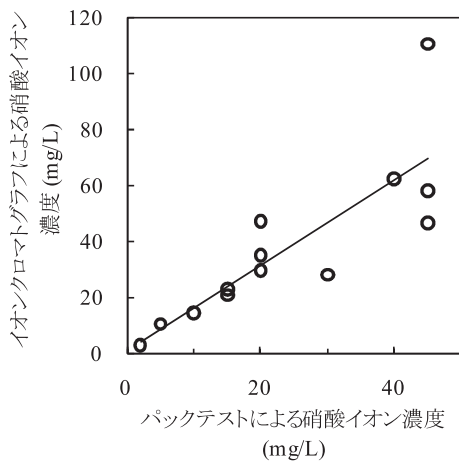
上田市菅平地区西組・向組土地利用図



第1図 調査地域の位置および土地利用図 (巻末の封筒に原図あり)

第1表 各採水地点の集水域における主な土地利用と水質分析結果

地点 番号	種別	集水域の主な土地利用 (本流は湿地内の位置)	イオン濃度測定値 (mg/L)								
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	
										イオンクロマトグラフ	バックテスト
1-1	本流	湿地中央部, 林地	3.6	2.5	20.2	7.2	6.3	33.6	18.9	29.6	20
1-2	本流	湿地の始まり, 農地	4.0	3.3	22.6	9.1	7.3	28.1	21.2	47.2	20
1-3	支流	林地, 農地	3.5	2.4	15.2	5.7	4.7	20.1	9.9	28.0	30
1-4	支流		5.8	4.3	52.9	17.1	12.2	117.2	53.8	35.1	20
1-4'	支流		4.6	4.1	42.2	15.1	13.4	30.5	64.2	62.2	40
1-5	支流	農地	5.7	9.0	21.2	10.7	9.1	28.7	18.4	58.2	45
2-1	本流	湿地, 林地, 農地	5.8	2.4	23.5	7.5	11.0	42.1	22.5	20.7	15
2-2	支流	湿地, 農地, グラウンド	9.0	7.0	52.7	28.0	24.3	25.6	134.0	110.6	45
2-3	支流	農地, 駐車場等	4.1	1.7	15.4	3.7	4.5	37.2	13.8	14.4	10
2-4	支流	住宅地, グラウンド	3.7	1.6	12.7	3.6	3.5	43.3	12.8	3.0	2
2-5	支流	農地	4.1	2.2	24.5	7.7	10.1	34.2	15.2	46.4	45
2-6	本流	湿地末端部, 農地	7.2	2.5	21.5	6.8	9.8	39.7	25.9	23.1	15
2-7	支流	住宅地, グラウンド	3.7	2.5	19.4	5.3	8.6	53.1	11.7	10.5	5



第2図 バックテストによる硝酸イオン濃度測定値とイオンクロマトグラフによる硝酸濃度測定値の比較

47.2, 62.2, 58.2, 110.6, 46.4 mg/L). 湿地の上流側に位置する地点1-3, 1-4, 1-4', 1-5は耕作地のある斜面下部から湧き出している湧水の少し下流で採水したもので高いNO₃⁻濃度を示している(地点1-3, 1-4におけるNO₃⁻濃度はそれぞれ28.0, 35.1 mg/L). 地点1-4'は地点1-4の近傍であるが生活排水の流入が確認されており, 地点1-4'の方がNO₃⁻濃度において27.1 mg/L高い値を示した.

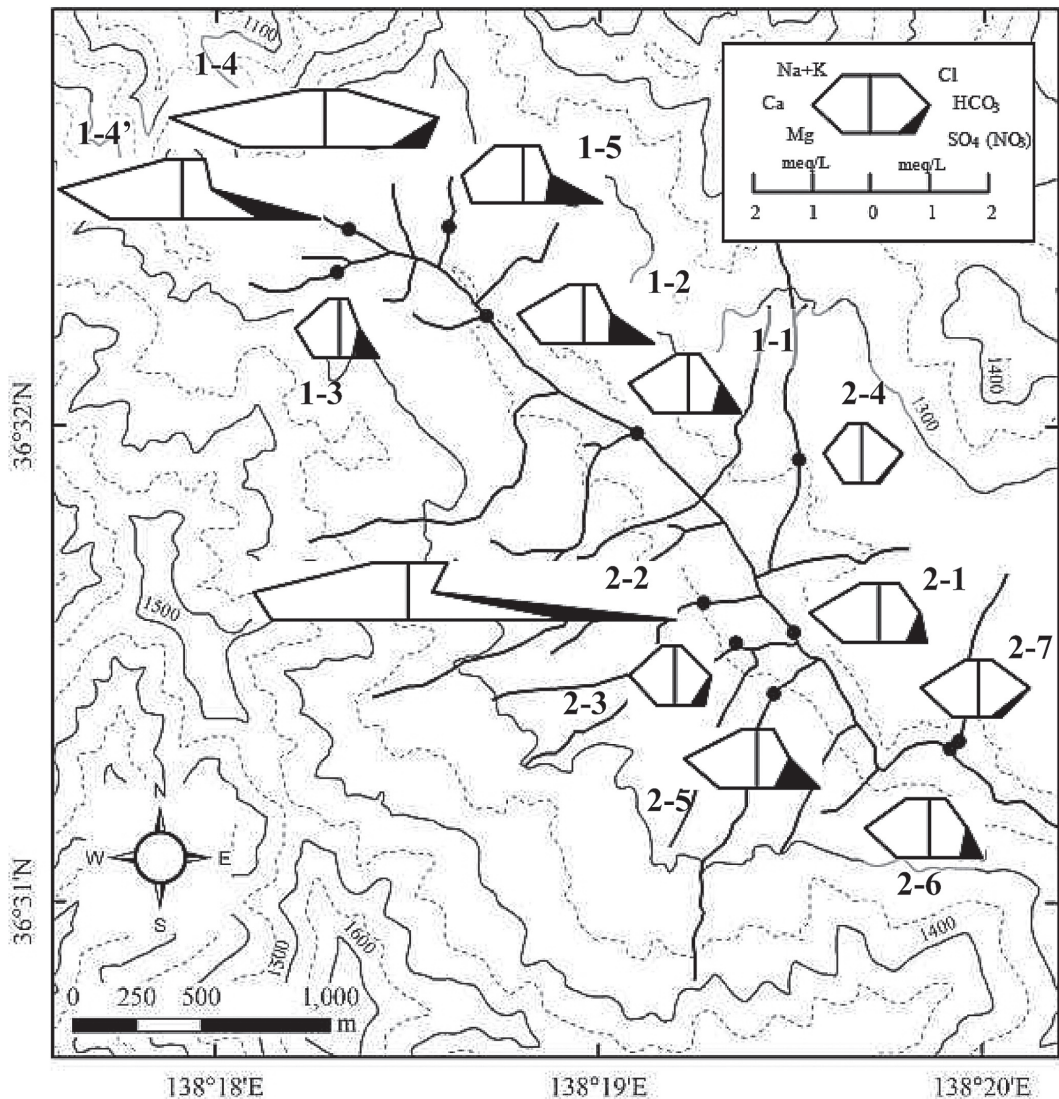
本流は流下するにしたがって地点1-2 → 1-1 → 2-1 → 2-6の順に通過し, NO₃⁻濃度は47.2 → 29.6 → 20.7 → 23.1 mg/Lと2-1から2-6にかけて2.4 mg/L増加しているものの全体としては濃度が低下していく様子が示された. また本流の流下にしたがってHCO₃⁻濃度は28.1 → 33.6 → 42.1 → 39.7 mg/Lと増加する様子がみられた.

NO₃⁻濃度以外のイオン濃度については第3図のヘキサダイアグラムの形状によると地点1-4'と2-2以外のすべての地点においてCa²⁺とHCO₃⁻が相対的に高い濃度を示す算盤玉形を示した. 地点1-4'と2-2ではNO₃⁻濃度を含め各水質成分が特異的に高く, ヘキサダイアグラムは右下辺の長い矢羽形を示した.

これらの結果は従来の結果とも同じような傾向を示すものであり, 1991年11月の水質結果(田瀬, 1995)と調和的であった.

3. 地表水のNO₃⁻濃度と土地利用の関係

調査地域周辺(湿地周辺)における農地のみを第1図から抜き出し, その空間分布を採水地点と合わせて第4図に示す. 支流を採水した地点におけるNO₃⁻濃度はばらつきが大きく, それぞれの

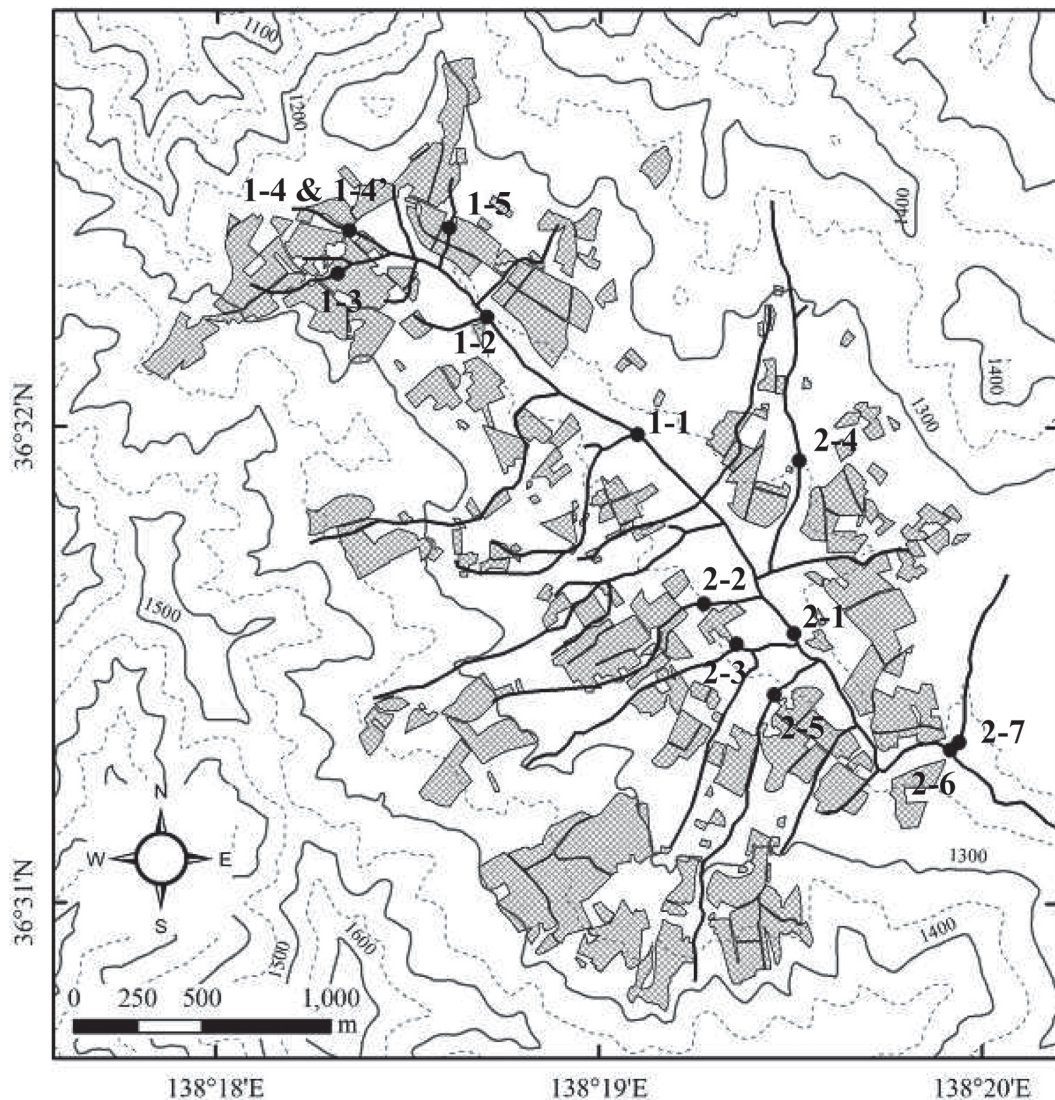


第3図 各採水地点における溶存イオン成分の空間分布（硝酸濃度はイオンクロマトグラフによる測定値を使用）

支流が流下してきた土地利用を反映していると考えられる。地点2-4, 2-7で採水された水サンプルは農地を通過せずに採水地点に至っており、これらの水質は農地における施肥などの影響を受けていない地点と考えられる。地点2-4, 2-7のNO₃⁻濃度はそれぞれ3.0, 10.5 mg/Lと低い値であった。それに対して湿地の上流側に位置する地

点1-3, 1-4, 1-4', 1-5は耕作地のある斜面下部から湧き出しており、斜面上部の耕作地に影響されて高いNO₃⁻濃度を示している。

地点2-2ではNO₃⁻濃度を含め各水質成分が特異的に高い濃度を示したが、この地点は農地と農地に挟まれた整備されていない水路で、水がほとんど流れていない地点であったことから各水質成



第4図 調査地域周辺（湿地周辺）における農地の空間分布

分が蒸発・乾燥によって濃縮されていると推定される。また地点2-2では生活排水の流入は確認されなかったが、地点1-4'とヘキサダイアグラムが似た形状をしており、生活排水の流入も示唆される。地点2-2における水質は乾燥化しつつある湿地周辺において施肥の影響が強く出ている土地における水質を代表していると思われ、無降雨時は環境に対する影響はその地点に留まるもの

の降雨時などその濃縮された水質成分が流出する際には地域の環境に大きく影響することが懸念される。地点2-3の源流は大きな湧水となっており流量も多く、その集水域における土地利用からは農地の影響が推定されるが各水質成分の濃度は低く、 NO_3^- 濃度も14.4 mg/Lと比較的低かった。

菅平川本流の水質変化をみると流下するにしたがって農地を流下した高い NO_3^- 濃度を持った支

流が流入するものの本流の NO_3^- 濃度は低下(47.2 → 23.1 mg/L)している。これには植生による吸収や、より低い NO_3^- 濃度をもった支流の流入による希釈(地点2-3や2-4)の影響も考えられるが、 NO_3^- 濃度の低下とともに HCO_3^- 濃度が上昇(28.1 → 39.7 mg/L)しており、還元的な環境における湿地の脱窒作用が働いたと考えられる。地点2-1から2-6にかけての NO_3^- 濃度の上昇は、この間に流入する支流である地点2-5が46.4 mg/Lと、地点2-1における NO_3^- 濃度の20.7 mg/Lに対して倍以上の濃度を持っており、その流量が明らかにされていないので定量的な議論はできないが、湿地の脱窒作用を上回る窒素の負荷によって NO_3^- 濃度を上昇させていると推察される。また今回は地下水については採水を行っていないが、溶存イオンの非常に少ない地下水が湿地を涵養していることも指摘されており(田瀬, 1995)、流下にもなう本流の NO_3^- 濃度の低下は低い溶存イオン濃度を持った地下水による希釈の影響の可能性も考えられる。

VI まとめ

菅平湿原を中心とする菅平流域において土地利用調査と地表水の水質調査を行った結果、地表水の NO_3^- 濃度と土地利用との関係は以下のようにまとめられる。

- 1) 農地の影響を受けない水の NO_3^- 濃度は0~10 mg/L程度の低い値を示す。
- 2) 湿地の機能としての脱窒作用が水質結果から確認でき、定量的な評価はできないが農地を流下して60 mg/L程度の高い NO_3^- 濃度を持った支流の流入に対して湿地の中央を流下する本流では NO_3^- 濃度を20 mg/L程度までに低下させる機能がある(希釈の影響も考えられるが、本調査では十分な議論ができない)。
- 3) 乾燥化しつつある湿地近傍において、農地に

介在する流量の非常に少ない水路では NO_3^- イオン濃度は100 mg/L以上にまでおよぶ。

今回の調査では水質の情報量は少ないが、水文調査のみでは得られない土地利用と水質の両方の結果が得られた有意義なものとなった。より詳しい水質の形成プロセスや湿地の浄化作用について議論するためには流量観測に基づいた量の議論が必要である。また湿地の乾燥化にともない、基底流量時における物質の動態と降雨流出時における物質の動態では状況が異なると推測され、降雨流出時における詳細な観測も重要であると考えられた。

謝辞

本調査の土地利用図は筑波大学生命環境科学等支援室の宮坂和人先生に作成していただいたものである。深く感謝いたします。また本調査の実施および水質分析等においては筑波大学大学院生命環境科学研究科地球科学専攻の学生各位の協力を得た。記して謝意を表す。

文献

- 阿部和子・古藤田一雄・森田昌敏(1992):菅平盆地における土壤くん蒸剤D-Dの水系汚染に関する研究。筑波大学水理実験センター報告, **16**, 27-37.
- 上江洲朝彦・仁平尊明・手塚 章(2003):長野県菅平高原における高冷地野菜栽培の特色。地域調査報告, **25**, 1-18.
- 気象庁ホームページ URL: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 古藤田一雄・田瀬則雄(1992): <講演要旨-4> 長野県菅平流域の水収支。筑波大学水理実験センター報告, **16**, 162-163.
- 古藤田一雄・柘植敏朗(1989): <講演要旨-1> 菅平高原における融雪期の流出特性と水質の変化。筑波大学水理実験センター報告, **13**,

179.

- 桜井善雄 (1988): 上信越高原国立公園の菅平高原における排水溝掘削工事の経緯とそれに伴う植生の変化について. 信州大学環境科学論集, **10**, 16-27.
- 桜井善雄・中本信忠 (1982): 融雪期における菅平高原からの窒素およびリンの流出量とその流出特性について. 水温の研究, **26**, (3), 11-18.
- 新藤多恵子・内川 啓・山田 亨・呉羽正昭 (2003): 菅平高原における観光形態と土地利用の変容. 筑波大学地球科学系 人文地理学研究グループ 地域調査報告, **25**, 19-46.
- 鈴木和哉・田瀬則雄・古藤田一雄・伏脇祐一 (1993): <講演要旨-3> 長野県菅平盆地における地下水流動系について. 筑波大学水理実験センター報告, **18**, 158-159.
- 田瀬則雄 (1995): 農業系物質の水系への流出経路と形態に関する研究 平成5・6年度科学研究費補助金(一般研究B)研究成果報告書(課題番号 05453195), 25-42.
- 筑波大学地球科学系人文地理学研究グループ (2003): 「長野県真田町菅平地区土地利用図」地域調査報告, **25**.
- 東浦将夫・小林 徹 (1967): 菅平における湧泉の水文学的研究. ハイドロロジー, **1**, 28-32.
- 伏脇裕一・田瀬則雄・古藤田一雄・浦野紘平 (1994): 野菜栽培地域における殺菌剤ペンタクロロニトロベンゼン及び分解代謝物質の動態. 衛生化学, **40**, (1), 39-48.
- 藤野篤弘・松本栄次 (1992): 菅平盆地の畑地における表土の侵食. 筑波大学水理実験センター報告, **16**, 69-77.
- 宮下雄次・田瀬則雄 (1993): 長野県菅平における降雪及び積雪と河川水の酸素同位体比について. 筑波大学水理実験センター報告, **17**, 145-152.
- (2010年10月25日受付, 2010年11月25日受理)