

農耕地における地下水水質の変動特性

---特に陰イオン濃度の変動について---

Variation of Chemical Properties of Ground Water in Farm Land

--- Variation of Anion Concentration ---

広城吉成*・横山拓史**・神野健二***・和田信一郎****・

糸井龍一*****・山崎惟義*****・市川勉*****・細川土佐男*****

By Yoshinari HIROSHIRO, Takushi YOKOYAMA, Kenji JINNO, Shin-Ichiro WADA,
Ryuichi ITOI, Koreyoshi YAMASAKI, Tutomu ICHIKAWA and Tosao HOSOKAWA

Effect of the fertilizer on chemical properties of ground water was investigated from March to November in a farm land of West of Fukuoka City. The variation of dissolved oxygen (DO) and nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) concentrations in ground waters with time was greatly different by the surface conditions of the land: paddy field or vegetable field. In the case of the former, the DO and $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations decreased gradually from May and showed a minimum at the end of August. While, in the case of the latter, the concentrations were highly constant. Despite that the large amount of phosphate was manured, its concentration in ground waters was low.

Keywords: Fertilizer, Ground water, Nitrate, Dissolved Oxygen
Paddy field

1. 緒言

近年、農耕地における施肥がその地域の飲料水源としての地下水水質を悪化させ、深刻な問題となっている。なかでも硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) の上昇が顕著であり、日本の場合、環境庁の報告によれば水道水基準値、 10mg/l を越える場合もしばしば見受けられる。アメリカやヨーロッパにおいても地下水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は高く、各地で地下水の利用が危ぶまれている。¹⁾

今回調査対象とした地域は福岡市西部の農耕地であるが、この地域に点在する井戸より採取した水の中にも $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 10mg/l を超えるものがある。この地域は4月～9月は水田、10月～3月は主にキャベツ栽培の畑として利用されている。ただし一部の土地は一年中ビニールハウス (野菜栽培) として使われている。水田と畑地では地表付近の化学的・物理的環境や地下水面レベルは大きく異なり、また施肥の状況も違うので、硝酸イオンをはじめとする肥料構成成分の地下水への移動も水田と畑地の場合では異なってくるものが考えられる。²⁾ 本研究ではこのような農地利用条件の相違により地下水質が受ける影響がどのように異なるのかについて検討した。

* 正会員	九州大学助手 教養部図学教室	****	工博 九州大学助手 工学部地熱開発センター
(〒810 福岡市中央区六本松4-2-1)			(〒816 春日市春日公園6-1)
** 理博	九州大学助教授 教養部化学教室	***** 正会員	工博 福岡大学教授 工学部土木学科
(〒810 福岡市中央区六本松4-2-1)			(〒814-01 福岡市城南区七隈8-19-1)
*** 正会員	工博 九州大学教授 工学部水工土木学科	***** 正会員	工修 九州東海大学助教授 土木工学科
(〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)			(〒862 熊本市大江町渡鹿223)
**** 農博 九州大学助手 農学部農芸化学科		***** 正会員	工修 九州産業大学講師 工学部土木学科
(〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)			(〒813 福岡市東区松香台2-3-1)

2. 対象地域の概要

調査対象地域の土地利用状況と地質およびこの地域における施肥状況を以下に述べる。

2.1 土地利用状況

今回、地下水水質の調査対象に選んだ井戸をWで表わしその付近の様子を図-1に示す。この地域は4月～9月にかけては水田として利用され、10月～3月までは水田の裏作として畑に変わる。畑では主にキャベツが栽培されている。W3付近はビニールハウスとして利用されており、ここでは一年を通じてホウレンソウなどの野菜が栽培されている。

2.2 地下水流向および地層について³⁾

地下水の流れる方向は地下水位等高線に対して直角方向に流れる。この地域で想定される地下水流向は図-1の地下水位から

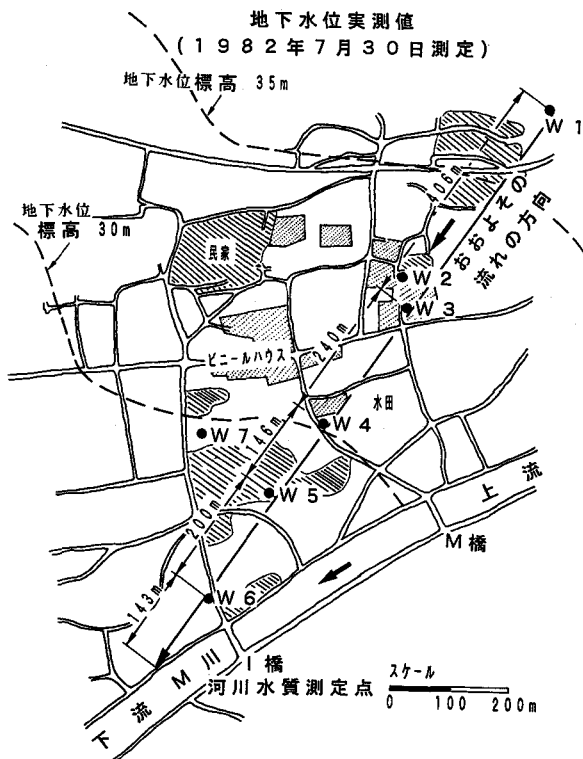


図-1 対象地域平面図

判断すると概ねW1からW6の方向に流れているものと思われ、この流れ方向での縦断状況を図-2に示した。また、この図に示されている井戸の深さはその井戸の所有者からの聞き込みで記入したが、実際の深さについては不明瞭な部分も多かった。地層状況はボーリング調査結果から地質柱状図の概略を図-2に示した。ボーリング深度は30mで地表面から7mまでの基質は風化花崗岩質粗砂からなり透水性は大きい。深度7m以深では粗砂から風化花崗岩に変わり上部から下部にかけて風化の程度は弱くなる傾向にあるが、深度25m以深では硬質部もかなり存在するようになっている。

2.3 施肥状況

施肥状況は農耕地の種類や何を栽培するかにより異なる。研究対象地域は図-1に示すように一年中ビニールハウスの畑地の部分と、4月から9月が水田、10月から3月は畑地の2地域に分けられる。水田の場合、元肥として4月下旬に10アールあたり尿素硫加燐安20kg (N=3.2kg, P2O5=3.2kg, K2O=3.2kg) が、さらに追肥として5月下旬に10アールあたり硫安カリ4.8kg が施肥される。稲刈り後水田は畑地に変わるが、その際元肥として

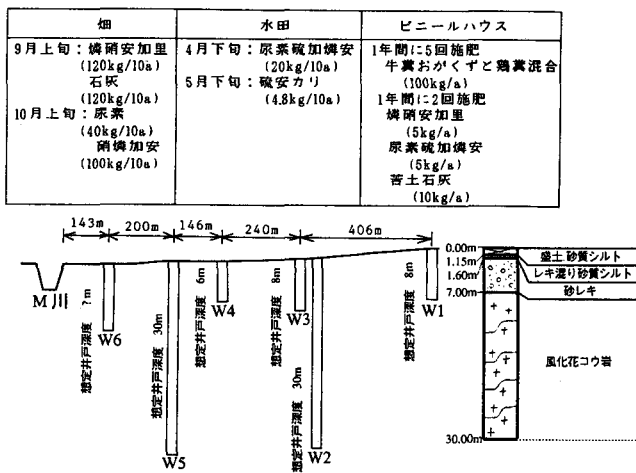


図-2 対象地域縦断図

9月上旬に10アールあたり燐硝安加里120kg（N=18kg、P2O5=18kg、K2O= 14.4kg）が、さらに追肥として10月上旬に尿素40kg、硝燐加安100kg（N=16kg、P2O5=14kg、K2O=16kg）が施肥される。一方ビニールハウスでは1アールあたり牛糞おがくずと鶏糞の混合100kgが一年間に5回施肥され、1アールあたり燐硝安加里5kg、尿素硫加燐安5kg、苦土石灰10kgが一年間に2回程度施肥されている。これらの施肥状況から水田における施肥量は畑やビニールハウスの量より少ない状況にある。

3. 井戸水のサンプリング及び水質分析法

井戸水のサンプリングはW4を除きポンプアップされているので蛇口から十分水を捨てた後、洗浄したポリエチレン製容器に採取し、冷蔵庫で保存した。W4はバケツで採水した。水温、電気伝導度、溶存酸素及びpHは採水直後に現場で測定した。リン酸イオン、ケイ酸、アンモニウムイオン、亜硝酸イオン濃度は吸光光度法、塩化物イオン、硝酸イオン、硫酸イオン濃度はイオンクロマトグラフィー、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム濃度は原子吸光法で測定した。

4. 電気伝導度の変化と主成分間の相関

施肥された肥料成分による地下水水質への影響を大まかに把握するには電気伝導度の変化を調べるのが便利である。図-3に各サンプリング時での電気伝導度値を示す。W1は電気伝導度の値が他に比べて小さく、ほぼ一定で人為汚染の程度も小さいと考えられる。W3からW6では6月8日と7月23日にピークが現れた。これらが水田への4月下旬と5月下旬の施肥からの影響とすると肥料成分の一部は施肥後1～2カ月で地下水に到達することになる。次に主成分間の相関を表-1に示す。この表は物質間に0.7以上の相関係数が有効測定回数に対してそれぞれ何回出現したかをまとめたものである。有効測定回数はNO3、Cl、PO4、ECが9回、SO4が8回、Na、K、Mg、Ca、SiO2が3回となっている。この表からNO3、SO4、Mg、Ca、Kの間に高い頻度で0.7以上の相関係数が現れているのがわかる。これら各成分はそれぞれ

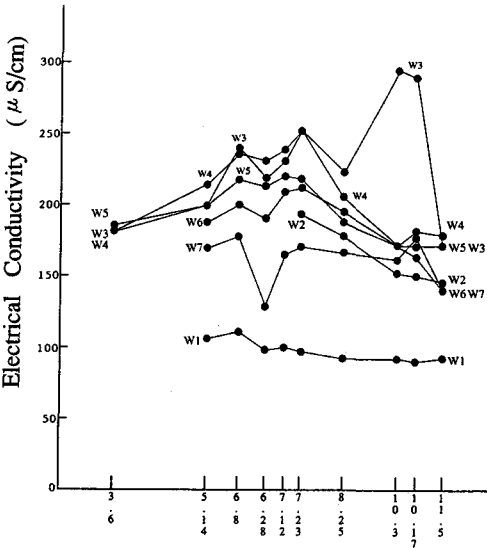


図-3 電気伝導度の変化

表-1 相関係数出現頻度

	NO3-N	SO4	Cl	PO4-P	Na	K	Mg	Ca	SiO2	EC
NO3-N		7/8	1/9	0/9	0/3	1/3	3/3	3/3	2/3	8/9
SO4			0/8	1/8	0/2	2/2	2/2	2/2	2/2	8/8
Cl				3/9	1/3	1/3	1/3	1/3	0/3	1/9
PO4-P					0/3	1/3	0/3	0/3	1/3	0/9
Na						0/3	0/3	0/3	1/3	0/3
K							3/3	2/3	3/3	2/3
Mg								3/3	2/3	3/3
Ca									2/3	3/3
SiO2										2/3
EC										

(0.7以上の相関係数出現回数)/(有効回数)

れ肥料に含まれているものであり、周囲が農耕地でなく山に近いW1を除いて電気伝導度の値が高いことから施肥された肥料成分がこの地域の地下水水質に大きな影響をもたらしていることが示唆される。本報告では水道水基準値を超えた硝酸性窒素を中心に、また肥料の陰イオン成分である硫酸イオン、リン酸イオンの挙動に焦点を絞って検討する。

5. 溶存酸素と硝酸性窒素の挙動について

溶存酸素は地表で空気中の酸素が水に溶け込んだものなので地下水の溶存酸素飽和率は水が地下へ移動する過程を反映する。5月中旬から11月上旬までの溶存酸素飽和率の変化を図-4に示す。W2、W4、W5、W6、W7の溶存酸素量は5月から下降しはじめ8月下旬に極小値を示した。この期間

はこれらの井戸周辺が水田となり湛水された状態である。このような水田では微生物活動により嫌氣的雰囲気になっており溶存酸素量はほぼゼロ^{4)・5)}となる。従ってこのような還元的な水が地下水へ混入したものと考えられる。このように水田の還元的雰囲気が地下水の水質をかなり還元的なものにすることが示された。一方、W1は溶存酸素値も高く地下水は安定した酸化的状態にある。W3も同様な変化を示しており、畑地の場合酸化的雰囲気がそのまま地下水へもたらされたといえる。W2、4、5、6、7では稲の刈り入れ前あたりから溶存酸素量が上昇しはじめているが、これは水田の湛水状態が終了し徐々に大気とのガス交換が行われ始め、9月上旬からは水田の裏作としてキャベツなどが作られるため土地を堀起こすなどの影響も加わることから溶存酸素飽和率も上昇に転じたと思われる。

硝酸性窒素濃度の変化を図-5に示す。なお全ての地下水において亜硝酸イオン、アンモニア性窒素は検出されなかった。W1の硝酸性窒素濃度は1~2 (mg/l) 程度と低く安定しており、この値がこの地域での背景地下水濃度であると考えられる。6月下旬から8月下旬にかけてW2、W3、W4、W5、W6の濃度が減少しているがこれは水田に特有ないくつかの要因が考えられる。水田に施肥される窒素肥料の大部分がアンモニア性窒素の形で含まれており、これは土壤に吸着されやすくしかも稲が多量吸収する。⁴⁾ また、アンモニア性窒素の一部が水田表土で硝酸性窒素に変

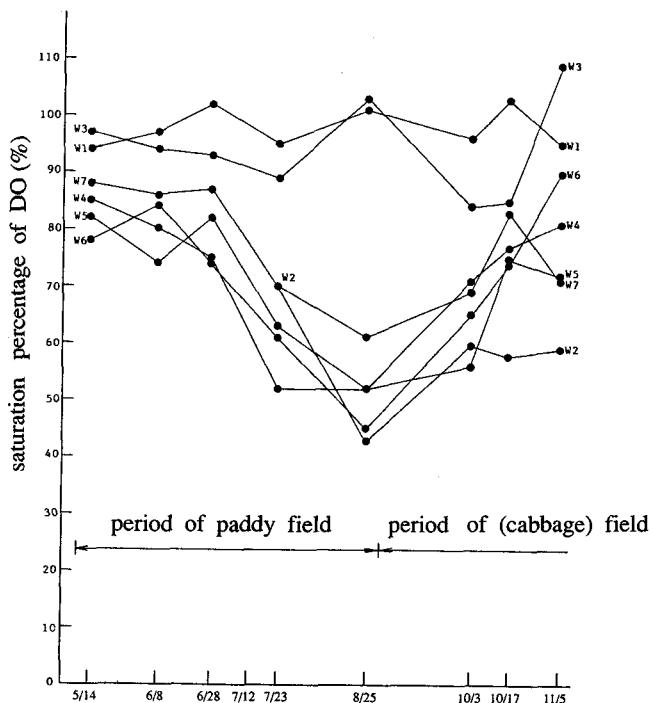


図-4 溶存酸素飽和率の変化

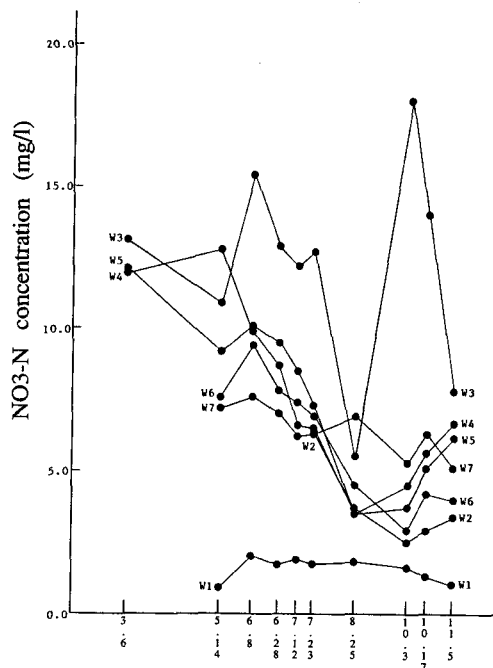


図-5 硝酸性窒素濃度の変化

化し、これが水の地下浸潤で移動しても水田作土層では溶存酸素量は低く還元的雰囲気になっているため脱窒も起こりやすく⁴⁾、水田に施肥された窒素肥料が硝酸性窒素の形で地下水に混入、負荷される可能性は小さいと考えられる。また、水田期になると畑作期の時よりも地下水面が2～3m上昇し水田から地下水かん養が行われ、これがW3の高い硝酸性窒素濃度を希釈して濃度の低下をもたらしたと思われる。図-4と図-5から水田の還元的雰囲気が地下水の溶存酸素量とNO3濃度をかなり低下させることが明らかになった。10月には水田から畑作に転換されたため硝酸性窒素濃度も上昇したと考えられ今後は更に増加していくと思われる。

6. 硫酸イオンおよびリン酸イオンの挙動

図-6には硫酸イオン濃度の変化を示した。各調査地点とも濃度変化に特徴的な傾向が現れているとはいえず、同じ陰イオンの硝酸イオンの挙動とは大きな違いをみせている。背景地下水とみられるW1よりは他の地点の濃度は高く推移しており図-3からも考察されたように肥料に由来したものと考えられる。また水田からの地下水かん養による希釈を硝酸イオンと同様に受けているが、濃度は概ね維持または微増しており、土壌への吸着や生物的影響で硫酸イオンは硝酸イオンより物質移動に遅れが生じると思われる。

図-7はリン酸イオン濃度の変化を示したものである。リン酸は肥料としてかなりの量が負荷されているにもかかわらず、同じアニオンである硝酸イオン、硫酸イオンなどに比べ濃度が非常に小さい値となっており、多量のリン酸イオンが土壌に吸着していると考えられる。また、6月28日と7月23日データにピークがみられるが、リン酸イオンの吸着体である水酸化鉄が還元状態になると一部溶解するので、リン酸イオンが放出されることによると考えられる。^{4), 6)}

7. まとめ

農地への多量の施肥が今回の調査対象地域の地下水水質に大きく影響していることが明らかになった。

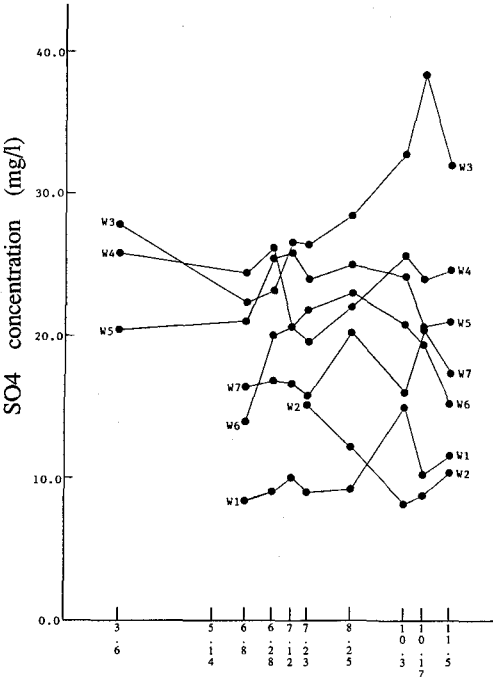


図-6 硫酸イオン濃度の変化

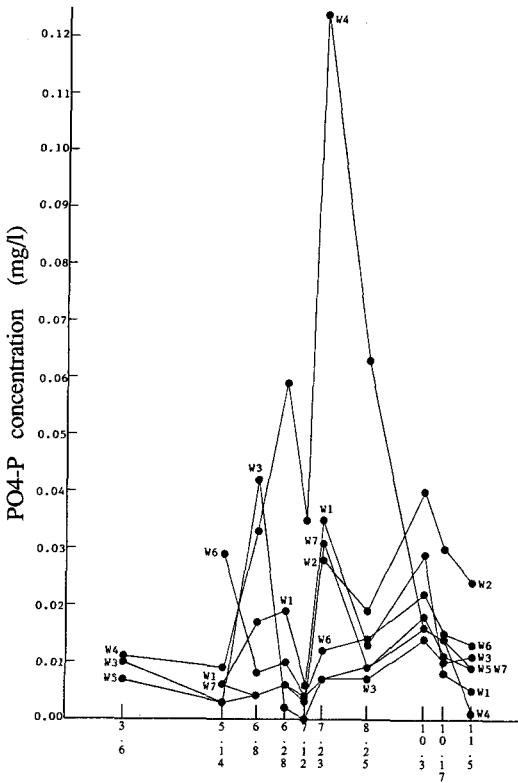


図-7 リン酸イオン濃度の変化

今回の対象期間における溶存酸素と硝酸性窒素濃度の変化から、水田から地下水へかん養される水の溶存酸素量は低く、そのかん養水が硝酸性窒素を希釈し濃度を低減させること、稲刈り前あたりから地表が好氣的雰囲気になり畑作の為に施肥がなされることから濃度が上昇しはじめるなどの知見を得た。また、肥料成分の3大要素の一つであるリン酸イオン濃度は硝酸イオンや硫酸イオン濃度に比べ非常に低く大部分が土壌に保持されているものと思われる。今後減反などで水田が畑作に変わっていけば、更に硝酸塩の高濃度化が危惧される。

今回は硝酸性窒素、硫酸イオン、リン酸イオンなど肥料に多く含まれる陰イオンを中心に検討したが、今後はナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウムなどの陽イオンの変化を含め、想定される地下水の流れを考慮した各物質間の変化・輸送過程を明らかにするため、室内カラム実験や現地での実験を行う予定である。なお本研究の一部は、日本生命財団研究助成「地下水取水にともなう河川汚濁物質の地下水系への輸送過程に関する基礎的研究」（研究代表者神野健二）の補助のもとに行われた。またサンプリング、分析にあたっては九州大学理学部2年（当時教養部）森めぐみ、古屋浩美さんの協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 環境庁：地下水質保全対策調査－硝酸性窒素地下水汚染基礎調査－，1991
- 2) 永井茂：無機汚染の実態と問題点，地下水汚染とその防止対策に関する研究集会第1回講演集，
pp. 31～36，1991
- 3) 福岡市水道局地質調査委託総括報告書：M川流域地質調査，1978・9
- 4) Bolt, G.H. and Bruggenwert, M.G.M. (岩田進午，他訳)：土壌の化学，pp. 178～240，
1980
- 5) 宗宮功 編著：自然の浄化機構，技報堂出版，pp. 65～70，1990
- 6) 国松孝男・村岡浩爾 編著：河川汚濁のモデル解析，技報堂出版，pp. 65，1989