

地下水を水源とする水道水の硝酸イオン濃度の時間的変動

坂本 康, 中村 文雄, 風間 ふたば

(平成3年8月31日受理)

Time Variation of Nitrate Concentration in Groundwater-Derived Potable Supplies

by Yasushi SAKAMOTO Fumio NAKAMURA and Futaba KAZAMA

Abstract

Nitrate concentrations in groundwater-derived potable supplies were examined for their time variation. Sample waters were collected from two faucets of municipal water supplies and a neighboring river to determine their seasonal quality changes and daily quality changes following rainfall events.

The results showed that (1) the nitrate concentrations were lower for a period from October to December during which organic and ammonia nitrogen of agricultural supplies had not yet been converted to nitrate, (2) the nitrate concentrations increased during several days after rainfall events, (3) time between rainfall events and concentration peaks became shorter when the soil became humid because of antecedent rainfalls, and (4) the relationships between NO_3^- and SO_4^{2-} concentrations at peaks after rainfall events could be different from those on fine days.

1. はじめに

水道水の硝酸性窒素濃度の基準値は、我が国をはじめ多くの国で、10mg/lに設定されている。しかし、地下水を水源とする水道では、近年この値に近い、あるいはこの値を越える水道水が増加している。中村(1990)によると、1986年度の我が国の上水道(給水人口5,001人以上)のうち、地下水を水源とする水道の浄水場、675箇所で硝酸性窒素濃度が9 mg/lを越えるものは、1%以上もある。一方、11,000余に達する簡易水道(給水人口5,000人以下)でも、多くの場合地下水を水源としている。これらの簡易水道については、水質測定頻度も少なく、また測定結果も一般には公開されていない。したがって、上水道、簡易水道を合わせた水道全体では、更に多くの水道が9 mg/lを越えて

いると推定できる。

著者らは、このような地下水を水源とする水道水について、その硝酸性窒素濃度の実態の解明と対策の検討をすすめている。その研究の一貫として、1989年度には甲府盆地東部で地下水を水源とする簡易水道の水について、硝酸性窒素濃度の空間的分布を検討した(坂本・中村・風間(1990))。その結果、いくつかの水道栓で硝酸性窒素濃度が10mg/lを越える水を観測し、その空間的分布が流域内での農業用窒素施用量とある程度関係があることを示した。しかし、1989年度は採水期間が秋から冬の期間に限られていたこと、地下水流が不明であることから、汚染の機構を知ることはできなかった。

本研究では、汚染機構を推定するのに必要な資料をさらに得るため、水道水の硝酸イオン濃度の時間的変動を検討した。具体的には、①濃度の季節変化、およ

び②降水直後の濃度の経日変化を観測し、検討した。

2. 調査方法

2-1 採水地点

採水地点は、1989年度の調査で高い硝酸性窒素濃度を示した、笛吹川支流、金川の左岸側の水道栓とした。また、比較のために隣接する金川の水も採水した。採水地点の概略を図-1に示す。水道水の採水点は金川扇状地上で、いずれも標高300~320mの地点である。金川扇状地の地下水については、山本(1981)に詳しい。

採水地点1は、御坂町成田の熊野寺に隣接したグラウンドの水道栓である。この地点の周辺では、1989年度にも8 mg/l以上の濃度を示している。この地点の水道は、6箇所の水源の水を併せて使っており、水源の特定はできなかった。最も近くにある水源は、100mの深井戸を水源としているが、施設はかなり老朽化していた。

採水地点2は、採水地点1と金川との間にある石和町中川の山梨県立園芸高校の水道栓である。ここは、石和町の中川水源の給水施設から約200m下流にあり、他の水源の影響は少ないと考えられる。中川水源の給水施設は、近くにあった旧水源の水質が悪化したために、1989年に新たに建設されたものである。中川水源の採水層は70~100mの深度にある。また、原水は塩素消毒のみされ、48時間分の容量を持つ貯水槽に貯水されている。

採水地点3は金川である。ここでは、7月~8月の期間は、水は地中を流れる。したがって、この期間の採水は、地点3よりも約1.5km下流で行なった。

採水地点の周辺地区は、桃、ぶどうの果樹園地帯であり、1 ha 当り年間約300kgの窒素が、有機-無機複合肥料の形で施用されている。実際に使われている複

合肥料の種類には、窒素は約7%含まれていた。しかし、そのうちの約30%がアンモニア性、残りの大部分は有機性であり、硝酸性窒素はほとんど含まれていなかった。

果樹への施肥は、元肥、追肥、秋肥からなる。一般には、年間施肥量の約60~70%は元肥として、落葉後から12月ごろまでと萌芽前の2月~3月ごろまでの二回に分けて施用する。山梨県の場合は、12月~1月に降雨が非常に少なく土壌が乾燥するので、この期間に有機質肥料を多量に施すと分解しにくい。したがって、秋肥をお礼肥として9月~11月ごろに重点的に施用し、年内に分解、吸収させて貯蔵養分として蓄えさせ、元肥としての役割も果たさせるのが一般的である。

2-2 採水期間

(1) 濃度の季節変化

水道水質と農業活動等との関係を調べるため濃度の季節変化を観測した。採水は、5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 1月の約一ヶ月毎に、晴天時に行なった。採水点にもっとも近い気象台の観測所は、ほぼ北西に約6km離れた勝沼である。勝沼での、採水期間を含む13ヶ月間の月別総降水量を、表-1に示す。

(2) 降水直後の濃度の経日変化

降水の影響が水道水質にどのように現われるかを調べるため、降水直後の濃度の経日変化を調べた。採水は、甲府で降水があった日の翌日、または翌々日から一週間程度、毎日一回行なった。期間は、7月27日~8月1日、10月27日~11月7日、12月12日~12月17日、1月23日~1月31日の四期間である。各降水の概要を、勝沼でのデータにより表-2に示す。なお、1月21日は雪で、他は雨であった。

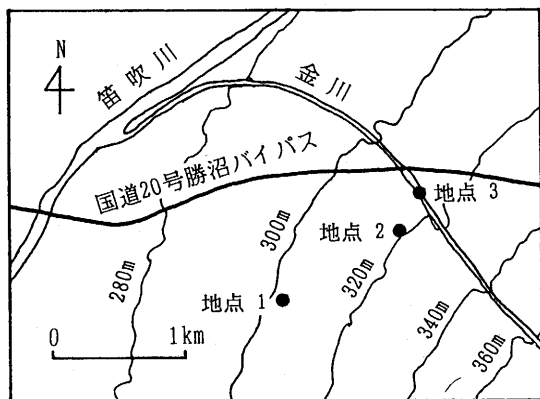


図-1 採水地点概要図

表-1 採水期間の降水量

月	降水量 (mm)
'90. 1	20
2	78
3	78
4	70
5	61
6	49
7	78
8	133
9	216
10	105
11	120
12	20
'91. 1	29

表-2 降水の概要

降水日時	継続時間 (hr)	降水量 (mm)
'90. 7.24	-	19
7.26	16-18	2
10.25	23-1	1
10.26	1-8	11
10.30	5-24	19
10.31	0-3	4
11. 4	5-16	22
12.11	14-22	17
1.21	12-24	28

注) 表-1, 2の値は、勝沼での観測値。

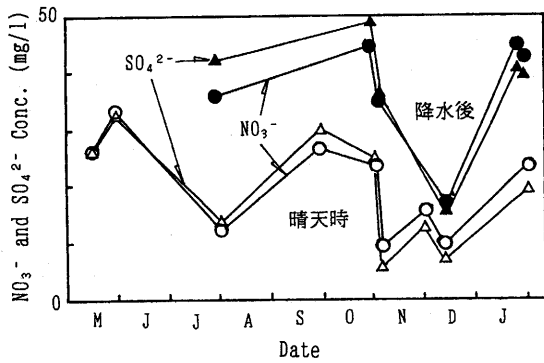


図-2 NO₃⁻, SO₄²⁻濃度の季節変化(地点1)

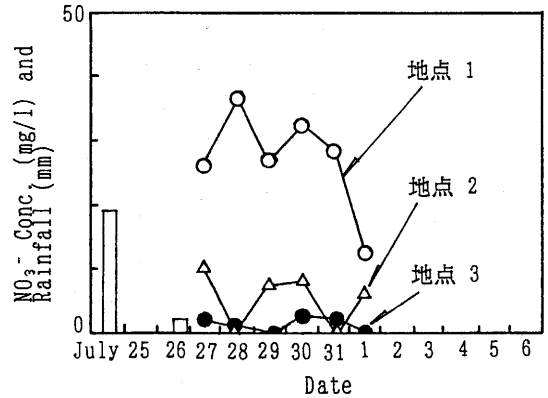


図-4 降雨後のNO₃⁻濃度変化(7月25日)

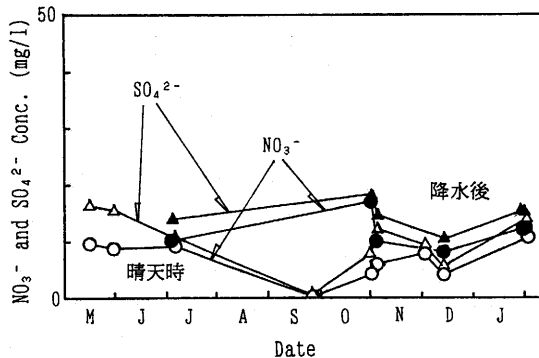


図-3 NO₃⁻, SO₄²⁻濃度の季節変化(地点2)

2-3 採水方法と分析方法

水道栓から約2分間流した後にポリビンを数回共洗いし、ポリビンの口まで水を満たし、密栓し、試料水とした。Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻濃度は、イオンクロマト(日立L6000シリーズ、電気伝導度検出器)により測定した。なお、以下では濃度は各イオンの重量濃度で示す。水道水の基準値、硝酸性窒素濃度10mg/lは、NO₃⁻濃度では44.3mg/lに相当する。また、NO₂⁻濃度はいずれの試料でも約0mg/lであった。

3. 結果と考察

3-1 濃度の季節変化

地点1, 2でのNO₃⁻濃度(○, ●), SO₄²⁻濃度(△, ▲)の季節変化をそれぞれ図-2, 図-3に示す。図の○, △は、晴天の日と、降水後で降雨の影響が現われていない日とのデータである。図の●, ▲は、各降水後に現われた最高濃度である。

図によると、晴天時の濃度は地点1では11月~12月

に、地点2では9月~12月に低い傾向が見られる。また、NO₃⁻, SO₄²⁻の濃度は似たような変化を示している。各降水後の最高濃度を見ると、地点1, 2とも晴天時より高い濃度を示している。特に、地点1では12月以外の降水後の濃度は晴天時濃度に比べて顕著に高くなっている。そして、10月28日には硝酸性窒素濃度で10.1mg/l, 1月23日には10.2mg/lと基準を越えている。

2-1で述べたように、この地域では、9月~11月ごろに有機性、あるいはアンモニア性の形で窒素が施用される。したがって、全窒素としての施用量の多いこの時期よりも、有機性、あるいはアンモニア性窒素が硝酸性窒素に変化する1月以降のほうが土壌中の硝酸性窒素濃度は高いと予想される。水道水に現われた傾向もそのような土壌中での硝酸性窒素の生成、蓄積を反映していると考えられる。

3-2 降水後の濃度の経日変化

7月26日の降雨による各地点のNO₃⁻濃度の変化を図-4に示す。7月26日は、甲府で24mmの降雨があったため観測を開始したが、勝沼では2mmの降雨であった。しかし、勝沼では甲府で0mmであった7月24日に19mmの降雨があり、この影響も現われていると考えられる。図-4によると、地点1では降雨後7日後くらいまで濃度の上昇が見られるが、地点3の金川では降雨後2日目以降顕著な濃度の変化は見られない。地点2では、地点1と3の中間の濃度を示している。このように、地下水を水源とする水道の水では、降雨後数日間、濃度上昇が観測された。

地点3の金川で濃度変化が見られなかった原因は次のように考えられる。Takeuchi, Sakamoto and Hongo(1984)によると、中小河川でもNO₃⁻濃度は降

雨後上昇する。しかし、その変化は一時間単位で起こり、降雨後1日以内ではほぼ降雨前の濃度まで低下する。したがって、今回測定を開始した降雨後2日目の時点では、すでに金川(地点3)の濃度は降雨前の濃度まで下がり、その後の濃度には降雨の影響が見られなかったと考えられる。

地下水を水源とする水道水で濃度が上昇する原因として、それまで取水していた地下水よりも高濃度の水が、降雨後新たに採水層にもたらされることが考えられる。水質成分のうち土壌・岩石から溶出するものでは地下での滞留時間が長いほど濃度が高くなる。したがって、降雨により新たにもたらされた水では濃度は低い。また、降水そのものの NO_3^- 濃度は一般に低い(Takeuchi, Sakamoto and Hongo(1984))。これに対し、観測された NO_3^- 濃度は降雨により新たにもたらされた水で濃度が高いことを示している。このことから、降雨により新たにもたらされた水は、土壌浸透

中の短い時間に土層から NO_3^- を供給されると考えられる。このような NO_3^- 供給源としては、施用された有機性、アンモニア性窒素から作られ、表層土壌に蓄えられる NO_3^- が考えられる。

12月11日の降雨による各地点の陰イオン濃度の変化を図-5~7に示す。これらの図によると、金川(地点3)では、 Cl^- と NO_3^- の濃度は同程度で変化がなく、 SO_4^{2-} 濃度がそれらより幾分高い濃度を示している。一方、地点1では Cl^- 濃度は変化が少ないが SO_4^{2-} と NO_3^- の濃度は同じような変化を示している。また、地点2では地点1と3の中間的な変化を示している。つまり、 NO_3^- 濃度の上昇の見られる地下水では、 SO_4^{2-} 濃度も同じような変化を示した。このような傾向は、他の降雨についても同様に見られた。

10月25日、10月30日、11月4日の連続的な三つの降雨による各地点の NO_3^- 濃度の変化を図-8に示す。図によると金川(地点3)では、降雨のあった日に濃

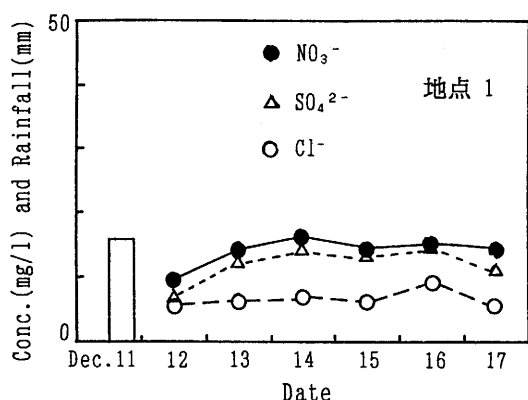


図-5 降雨後の陰イオン濃度変化(地点1)

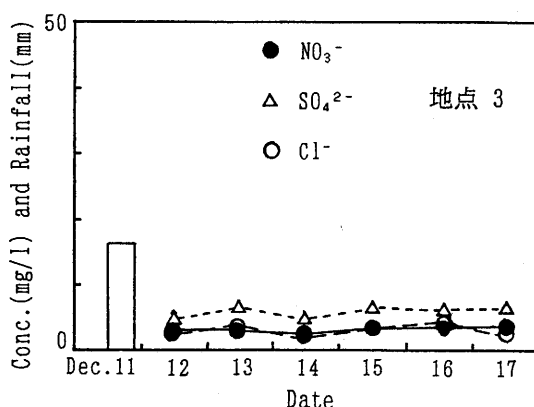


図-7 降雨後の陰イオン濃度変化(地点3)

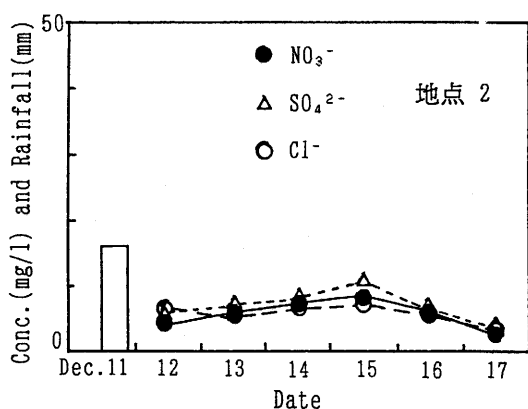


図-6 降雨後の陰イオン濃度変化(地点2)

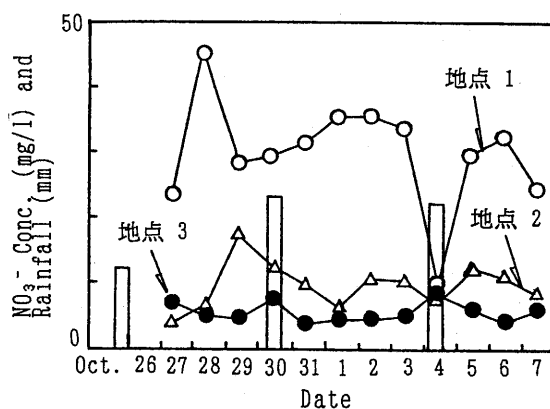


図-8 降雨後の NO_3^- 濃度変化(10月25日)

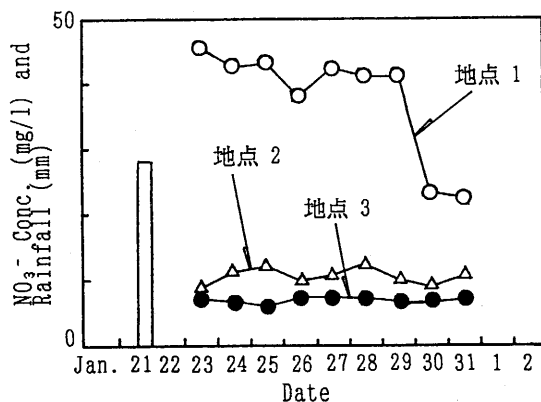


図-9 降雪後のNO₃⁻濃度変化(1月21日)

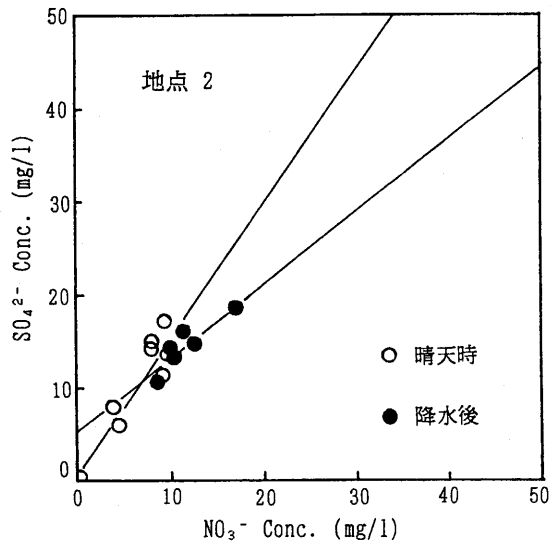


図-11 NO₃⁻濃度とSO₄²⁻濃度との相関(地点2)

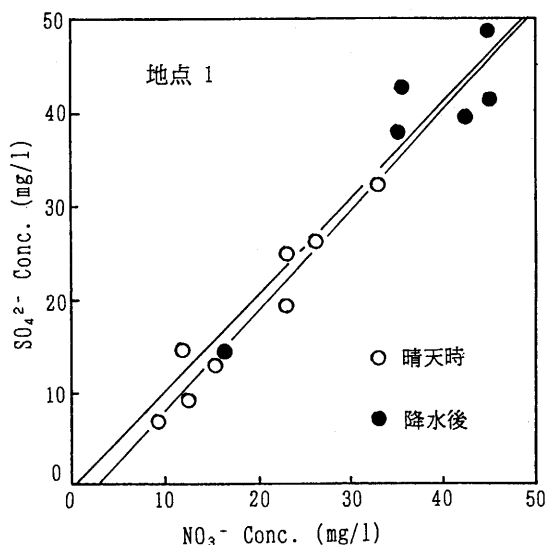


図-10 NO₃⁻濃度とSO₄²⁻濃度との相関(地点1)

表-3 NO₃⁻濃度(x)とSO₄²⁻(y)濃度との相関

	晴天時		降水後	
	相関係数	回帰式	相関係数	回帰式
地点 1	0.972	y = 1.07x - 2.68	0.933	y = 1.03x - 0.34
地点 2	0.927	y = 1.44x + 0.69	0.913	y = 0.79x + 5.56

潤になっている土壌ほど水分の移動が速く、濃度の応答が早くなると考えられる。

図-9には、1月21日の降雪後の各地点のNO₃⁻濃度の変化を示す。図によると、地点1では観測を始めた2日後にはすでに濃度が高くなっており、その濃度が8日後まで持続している。降雪では、融雪による土壌への水の供給が比較的長期間続き、土壌を湿潤な状態に保つ。このことが、NO₃⁻の供給に影響していると考えられ、その機構は不明である。

3-3 NO₃⁻濃度とSO₄²⁻濃度との相関

1989年度に行われた著者らの研究では、硝酸性窒素濃度と最も相関が高かった水質項目はCa²⁺濃度、次に相関が高いのはSO₄²⁻濃度であった。そこで、1990年度の測定値についてもNO₃⁻濃度とSO₄²⁻濃度との相関を検討した。地点1, 2での相関図を、それぞれ図-10, 図-11に示す。図の○は、晴天の日と、降水後で降雨の影響が現われていない日とのデータである。図の●は、各降水後に現われた最高濃度である。また、相関係数、及び最小自乗法で求めた回帰式を表-3に示す。

表-3によると相関係数はいずれも0.90以上であり

度の増加が見られる。一方、地点1, 2では降雨に対して数日おくれで濃度の増減が見られる。また、最初の雨で最高濃度が現われるのは、地点1, 地点2でそれぞれ降水日の3日後と4日後であるが、二番目の雨ではそれぞれ2日後と3日後、三番目の雨ではそれぞれ2日後と1日後となっている。このように、後の雨ほど最高濃度までの日数が短くなるのは、後の雨ほど先行降雨によって土壌が湿っているためと考えられる。土壌中の水の単位断面積当りの移動量は、一般に水分ポテンシャル勾配と不飽和透水係数との積として表わされる。このうち、不飽和透水係数は水分量に大きく左右され、水分量が多いほど水が流れ易くなる(たとえば、中野(1991))。したがって、先行降雨により湿

相関が高い。また、地点1では晴天時と降水後の回帰式はよく似ているが、地点2では晴天時と降水後で回帰式の勾配に大きな差がある。地点2では、降水後には NO_3^- 濃度の増加に比べ SO_4^{2-} 濃度の増加が比較的少ない傾向が見られる。これは、晴天時の地点2の水質が降雨により新たにもたらされる水の水質と異なることを意味している。坂本・中村・風間(1990)の観測結果では、金川左岸では川から離れるほど濃度が高い傾向があった。このことと考え合わせると、地点2では川の水の影響もあるのかも知れない。

4. ま と め

本研究では、甲府盆地東部地下水を水源とする水道水の NO_3^- 濃度について、①濃度の季節変化、および②降水直後の濃度の経日変化を検討した。得られた主な知見を以下に示す。

- (1) NO_3^- 濃度は、一年のうち11月から12月ころが他の月に比べて低い。これは、秋に施肥により供給された有機性、アンモニア性の窒素が冬から夏にかけての期間に NO_3^- に変化する過程を反映していると考えられる。
- (2) NO_3^- 濃度は、降水後には数日間上昇する。これは、降水により新たに高濃度の水が採水層にもたらされるためと考えられる。
- (3) 降水後、最高濃度を示すまでの日数は、土壌が湿潤なときほど短くなる。このため、先行降雨により土壌が湿潤になっているときに、濃度上昇の応答は早くなる。
- (4) 晴天時と降水後で NO_3^- 濃度と SO_4^{2-} 濃度との相関が異なる場合がある。

本研究により、対象地域では降水が地下水を水源とする水道の NO_3^- 濃度に影響していることが分かっ

た。このことから、硝酸性窒素濃度を基準値以下に保つためには、降水後の数日間の取水を制限するなどの対策が考えられる。このような原水管理をうまく行なうためには、降水後の水質変化をモデル化し、管理に利用することが必要となろう。今後は、このようなモデルを構築することを目指し、さらに細かい検討を行なう予定である。

謝 辞

本研究の実施には、日本水道協会の研究助成を得た。また、採水にあたっては山梨県立園芸高校の方々に便宜をはかっていただいた。水質分析では山梨大学環境整備工学科平成二年度卒業生、浜田努君（現、飛鳥建設㈱）の協力を得た。ここに記して、謝意を表したい。

参 考 文 献

- 坂本 康, 中村文雄, 風間ふたば(1990): 地下水を水源とする水道水に含まれる硝酸性窒素濃度の空間的分布, 山梨大学工学部研究報告, 第41号, pp. 139-144.
- 中野政詩(1991): 「土の物質移動」, 東京大学出版会, pp. 15-16.
- 中村文雄(1990): 日本における水道水中の硝酸性窒素濃度の現状, 「水道原水中の硝酸性窒素の除去方法に関する研究, 平成元年度研究報告」, pp. 1-4.
- 山本荘毅(1981): 日本の地下水—金川扇状地の地下水, 水, Vol. 23, No. 1, pp. 87-90, No. 3, pp. 26-29, No. 4, pp. 34-39, No. 5, pp. 24-27
- Takeuchi, K., Sakamoto, Y. and Hongo, Y. (1984): Discharge Characteristics of NO_3^- for the Analysis of Basinwide Circulation of Water and Environmental Pollutants in a Small River Basin, Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 73-85.