

琉球石灰岩分布地域における地下水（湧水）窒素濃度の分布特性と変動要因 について（沖縄本島南部地域をケーススタディとして）

Study on Characteristics and Influence Factors of Nitrogen Concentration in Groundwater of Ryukyu Limestone Region- Case Study in Okinawa Main Island-

中野 拓治, 寺澤 春菜, 安元 純

Nakano Takuji, Terasawa Haruna, Yasumoto Jun

1. はじめに

沖縄本島南部地域（糸満市・八重瀬町）は、琉球石灰岩を表層地質とする段丘地形によって特徴づけられる畑地農業地帯（基幹作物：サトウキビ）であるが、国営沖縄本島南部水利事業（1992～2005年）の地下ダム築造（米須・慶座）等によって水資源開発が進められ、1,352haの畑地に地下水が灌漑用水として利用されている。このような状況を踏まえ、今後の水質管理を含めた地下水の適正な利用に資する観点から、沖縄本島南部地域の地下水窒素濃度について、その分布特性や変動要因を考察したので、その概要を報告する。

2. 調査方法

本研究では、13カ所の湧水地点で調査（沖縄総合事務局によって実施）された水質データ（全窒素（T-N）、アンモニア態窒素（NH₄-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）及び、硝酸態窒素（NO₃-N））を用いて検討を行った。調査期間は、名城ビーチ（1993年から1998年の6年間）とワタヤー・慶座湧水（1993年から2002年の10年間）を除く10カ所の湧水地点では1993年から2005年の12年間であるとともに、いずれの地点も1993年が月1回、1994年以降は全期間を通じて3～4ヶ月毎の調査頻度となっている。

3. 調査結果と考察

3.1 地下水（湧水）窒素濃度の分布特性と各態窒素構成

調査地域は、名城地下水盆、米須地下水盆（喜屋武地下水盆の一部）、仲座地下水盆（以下、それぞれ名城エリア、米須エリア、仲座エリアという）に区分されており、13湧水地点について3つのエリア毎にT-N濃度の平均値を比較すると、名城エリアで最も高い値（名城ビーチ：16.7 mg・L⁻¹、栄喜之泉：15.4 mg・L⁻¹）を示し、米須エリアでは6.4～12.4 mg・L⁻¹、仲座エリアでは9.1～9.9 mg・L⁻¹の範囲に分布していることが確認された。各湧水地点のT-N濃度は、Table1に示すように広い範囲に分布しており、確率分布によるあてはめを行ったところ、分布範囲や標準偏差が小さくなるに従って、正規確率分布又は対数正規確率分布に近い分布特性を有することが確認された。また、全窒素（T-N）に占める各態窒素の割合は、各湧水地点ともNO₂-N（0～0.9%）、NH₄-N

Table1 調査地点における T-N 濃度の分布範囲・特性

調査地点	平均値 (mg・L ⁻¹)	分布範囲 (mg・L ⁻¹)	標準 偏差	変動 係数	回帰近似直線の 決定係数(r ²)	
					正規 確率	対数 正規 確率
新垣湧水	6.4	4.0～11.4	1.41	0.176	0.971	0.969
真壁湧水	10.2	6.8～15.8	2.00	0.191	0.923	0.837
真栄平湧水	9.0	6.6～11.7	1.06	0.082	0.989	0.965
山城湧水	8.4	0.4～15.2	4.14	0.441	0.840	0.548
米須南湧水	8.7	0.6～11.8	2.49	0.197	0.844	0.798
米須東湧水	8.7	4.0～11.2	1.84	0.178	0.947	0.751
西スーガー	12.4	7.5～16.6	2.11	0.153	0.935	0.947
サチンガー	6.8	4.4～9.6	1.25	0.100	0.979	0.963
仲座湧水	9.9	5.8～14.6	1.58	0.081	0.977	0.967
慶座湧水	9.5	6.5～13.3	1.26	0.100	0.954	0.990
ワタヤー	9.1	6.0～13.0	1.35	0.086	0.978	0.977
栄喜之泉	15.4	9.5～20.3	1.93	0.094	0.976	0.946
名城ビーチ	16.7	10.9～21.9	2.58	0.148	0.969	0.907

(0.1~1.4%) , 有機態窒素 (0.5~8.8%) , NO₃-N (89.2~99.5%) の順に大きくなっており, NO₃-N濃度が調査地域の地下水T-N濃度の支配的な水質構成要素であるといえる. さらに, T-N濃度とNO₃-N濃度の関係式として, (1) 式の直線回帰式 (相関係数: 0.971) が得られ, 実測されたNO₃-N濃度から一定の精度でT-N濃度を推定できることが示唆された.

$$Tn = 0.94No + 0.90 \quad (1) \quad \text{ここで, } Tn : \text{T-N濃度 (mg} \cdot \text{L}^{-1}), No : \text{NO}_3\text{-N濃度 (mg} \cdot \text{L}^{-1}).$$

3.2 地下水 (湧水) 窒素濃度の経時変化と変動特性

地下水 (湧水) 中のT-N濃度の経時変化は, 観測毎の短期的な変動と経年変化のような長期的な変動に類別されるが, 移動平均法 (単純移動平均法) を用いて観測データの変動を滑らかにすることにより, 長期的な変化傾向を把握した. 名城, 米須, 仲座エリアとも, 各湧水地点のT-N濃度は真栄平湧水 (1990年代前半から2003年までほぼ一定で推移した後に上昇傾向 (10mg · L⁻¹程度)) を除いて, 1990年代半ば頃をピークに1990年代後半から低下した後に, 2000年代に入ると, 米須南湧水, サチンガーのように横ばい傾向を示すか又は山城湧水, 米須東湧水のように上昇に転じていることが確認された (Fig.1). 調査地域の土地利用状況として, 農地面積の減少 (サトウキビ収穫面積の減少) や営農作物の転換 (野菜類・花卉類等の作付面積の増加) に伴う農地からの窒素負荷量の変化がT-N濃度の経年変化に影響を与えていることが示唆された. 一方, T-N濃度の短期的な経時変化に関しては, (2) 式で定義される変動係数を用いて評価したところ, 各湧水地点の変動係数として0.081~0.441の値が得られており, 大きな変動値を有する地点から緩やかな変動特性を示すものまで広く存在していることが確認された.

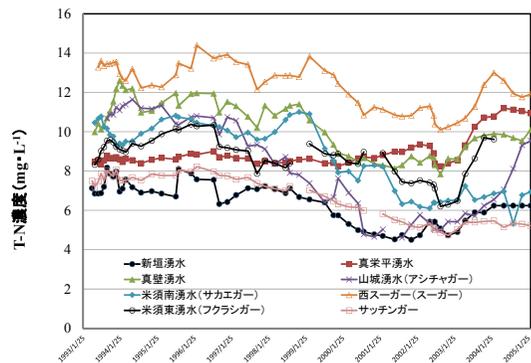


Fig.1 米須エリアのT-N濃度の経年変化

$$Fn = \frac{1}{N-1} \left\{ \sum_{i=1}^{N-1} TN_{i+1} - TN_i \right\} / TN_a \quad (2) \quad \text{ここで, } Fn : \text{変動係数, } N : \text{調査期間中の全調査回数, } TN_{i+1} : i+1 \text{ 回目の T-N 濃度 (mg} \cdot \text{L}^{-1}), TN_i : i \text{ 回目の T-N 濃度 (mg} \cdot \text{L}^{-1}), TN_a : \text{平均 T-N 濃度 (mg} \cdot \text{L}^{-1}).$$

また, 変動係数はT-N濃度の分布範囲や標準偏差と正の相関を示すとともに, T-N濃度の分布特性(変動係数値の低下に対応して正規確率分布又は対数正規確率分布に近づく傾向)にも関与しており, この変動係数を用いてT-N濃度の分布状況を定量的に評価できるものといえる. さらに, 変動係数と有機態窒素・NH₄-NのT-N濃度比率の間には正の相関が認められるとともに, 変動係数値の大きい湧水地点では降水量 (7日連続降水量) とT-N濃度の間に負の相関が存在することから, 既往の調査研究成果を踏まえると, 各湧水地点の窒素濃度の短期変動には琉球石灰岩分布地域帯水層の不均一な水理地質構造に起因する地下水の希釈等が影響を与えており, 窒素濃度の分布特性に反映されているものと考えられる.

4. まとめ

琉球石灰岩分布地域における地下水窒素濃度の分布特性と変動要因に係る今回の検討結果が, 今後, 水質管理を含めた適切な地下水利用に活用されることが期待される.