

沖縄県宮古島の地下ダムにおける地下水中の硝酸態窒素濃度の変化について

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 独立行政法人農業工学研究所 公開日: 2024-03-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 石田, 聡, 土原, 健雄, 今泉, 眞之 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/0002000075

沖縄県宮古島の地下ダムにおける地下水中の硝酸態窒素濃度の変化について

石田 聡*・阿部栄一**・土原健雄*・今泉眞之*

目 次

緒 言	111	1 硝酸態窒素濃度の平面分布	113
調査地区の概要	112	2 硝酸態窒素濃度の鉛直分布	115
1 地形・地質	112	3 考 察	115
2 宮古島における地下ダム事業	113	結 言	117
調査方法	113	参考文献	117
調査結果と考察	113	Summary.....	119

緒 言

地下ダムは、帯水層の空隙に地下水を蓄える施設であり、地下水の持続的な利用を可能にすると共に、地上ダムと異なり、水を貯留するために陸を水没させない、災害を被る危険がない等の長所を持つ。世界では、小規模な地下ダムがアフリカ、インド、中国などの乾燥地域で実用化されている（Hanson and Nilsson 1986）。日本においても1970年代の貯水量40万m³クラスの皆福実験地下ダムの施工を経て（沖縄総合事務局 1983）、1980年代後半から灌漑のために南西諸島および奄美諸島で地下ダム事業が開始された（Nagata et al. 1993）。沖縄県をはじめとするこれら琉球石灰岩分布地域は、帯水層の有効間隙率が大きく地下水の貯留に適しているため、現在国および県によって数々の大規模地下ダムが施工されている。一方、1980年代後半から着工されてきたこれらの地下ダムは、次々と完工の時期を迎えている。地下ダムの建設によって地下水位は数十メートル上昇し、不飽和帯の厚さは従前の半分以下になった。自然状態の地下水流を止水壁で遮ることによって地下水は滞留し、用水は確保されたが、同時に既往の地下水流動環境が大きく変化した。この変化は地下水の流動経路や水質に影響を及ぼすことが予想されるが、世界的に研究例が少なく、流域の適切な地下水保全計画の策定を難しくしている（今泉ら 2002）。地下ダムの築造による地域の地下水環境変化を明らかにすることは喫緊の課題であ

る。

一般的に石灰岩に代表される溶解性炭酸塩岩類から成る帯水層は、非溶解性岩類中の帯水層と比べて水の循環と岩石の融解によって、透水性が偏在している。Legrand and Stringfield（1971）は炭酸塩帯水層の構造について次の様に総括している。（1）水の循環と溶解活動は飽和帯の上部で最も大きく、深さが増加するにつれて小さくなる傾向がある。（2）不飽和帯において浸透水の流路となっている開口部は、溶解作用で拡大する傾向があるが、浸透水の流路となっていない比較的小さな開口部は溶解作用によってほとんど拡大しない。このような溶解チャンネル網は飽和帯の上部で特に発達している。Eric et al.（2002）は、アメリカアーカンソー州のカルスト地帯の地下水盆において、地下水流出域の湧水および土壌に含まれる硝酸濃度を定期的に測定し、肥料によってもたらされる硝酸の74%が土壌マトリクスの中を極めて遅い速度（65cm/y）で降下浸透し、26%が嵐によって発生する土壌中の大間隙流によって、より低濃度で素早く地下水に付加されることを明らかにした。

宮古島においては地下ダムの建設前、地下水中の硝酸態窒素濃度はおよそ10mg/lであった。その濃度は日本の飲料水基準の上限である。地下水の水質、特に硝酸汚染は宮古島の人々にとって最も関心の高い問題の1つとなっている。

本研究では流域の適切な地下水保全計画の策定に資するため、止水壁が完成した沖縄県宮古島の地下ダム流域内の39箇所の地下水観測孔において、窒素濃度、電気伝導度を深度毎に測定し、地下ダム完成前の値と比較するとともに、流域内の長期的な水質測定結果と、島内の肥料販売量の推移を比較し、水質環境の変化を解明した。

* 地域資源部地下水資源研究室

** 東北農政局農村計画部資源課

平成17年3月22日受理

キーワード：地下ダム，硝酸態窒素，石灰岩，地下水，水質



Fig.1 調査地位置図
Location map of study area

調査地区の概要

1 地形・地質

宮古島を含む琉球列島は九州以南から台湾にかけて弧状に分布している。これらの列島の東側には最大水深7,000mを超える琉球海溝が存在し、フィリピン海プレートがユーラシアプレートに沈み込むプレート境界となっている。琉球列島は一般的に隆起傾向にあり、多くの島々で海成段丘が見られる。第四紀以降に堆積した琉球石灰岩と呼ばれる礫性堆積物は、鹿児島県トカラ海峡以南に分布している(堀・茅根 2000)。

調査地は沖縄県宮古郡城辺町に位置している砂川地下ダムの流域内(一部福里地下ダム流域内)である。宮古島は、東京から南西約2,000kmに位置しており、年平均気温は23℃、湿度は80%の亜熱帯気候に属する島で

ある(Fig.1)。年平均降水量は2,200mmと多いが、そのほとんどが梅雨と台風によってもたらされているため、台風の少ない年の降水量は極端に少なくなる。また、島全体に分布する隆起石灰岩は透水性が非常に高いので、川がほとんど無く、降った雨も速やかに地下に浸透するので、長い間干ばつに悩まされてきた。

地形は平坦な台地状の地形であり、最高標高は113mである。総面積(約160km²)のおよそ57%は農地として利用されており、農業粗生産額の約45%がさとうきび、23%が葉たばこ、18%が畜産、7%が野菜である(緑資源公団九州支社 2001)。

宮古島の地質は下位より鮮新世~更新世の島尻層群、更新世の琉球石灰岩、時代は未詳だが更新世~完新世と推定される大野越粘土層が互いに不整合の関係で分布している。水文地質的な基盤となる島尻層群の層厚は2,000mにおよび、琉球石灰岩と接する最上部は主に青灰色シルト岩より成る。透水係数は $1.0 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 以下である。琉球石灰岩は堆積当時の初期空隙がかなり保存されていることに加え、地下水による二次的な空洞の溶食も進んでいるため極めて多様な岩相を示す(森ら 1997)。皆福実験地下ダムでの調査結果では、平均透水係数は $3.54 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 、有効間隙率(貯留率)は10%であった(今泉1998)。地下ダムの貯留域における琉球石灰岩の層厚は20~50m程度である。大野越粘土層は風成粘土であり、層厚は0~10m程度である。大野越粘土層は厚さ0.5-1mのラテライト質の粘質土壌で覆われている。

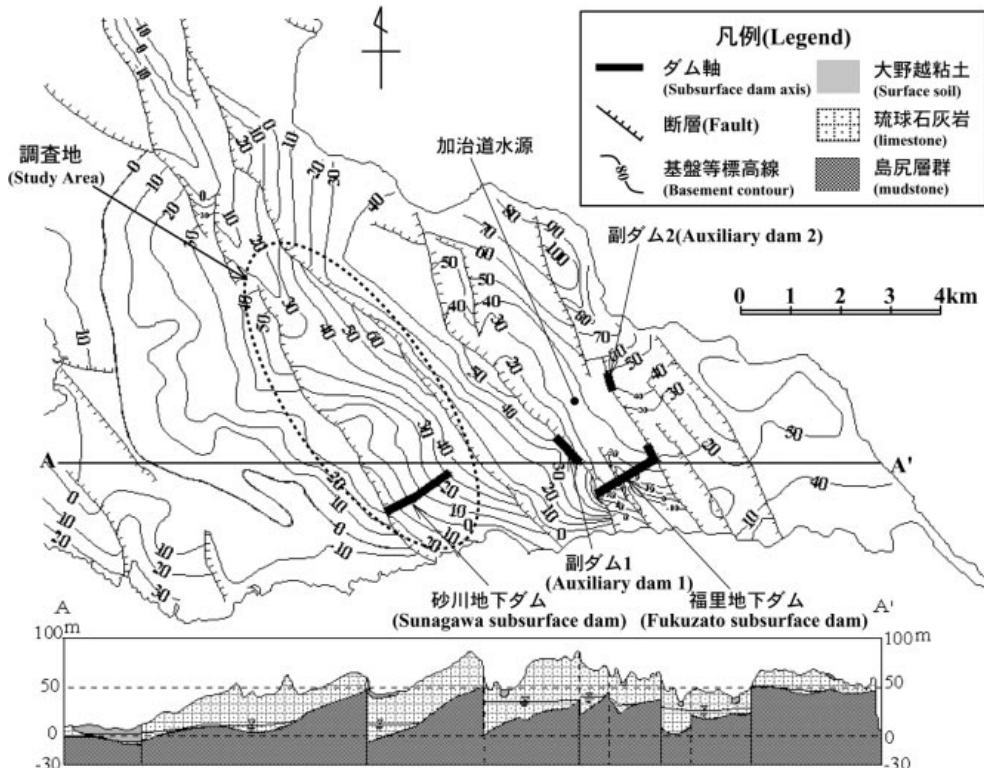


Fig.2 調査地周辺地質平面図
Geological map around study area

島の中には北西から南東方向の多くの平行な断層が分布しており、地質構造は西傾斜のケスタ地形である (Fig.2)。基盤は断層の間でいくつかの地下谷構造を形成しているので、これらの谷に止水壁を建設することによって、容易に地下水の流れを抑えられる。このような宮古島の地質的、水文的条件は、地下ダムの建設に適している (Ishida et al. 2003)。

2 宮古島における地下ダム事業

農林水産省は、宮古島において農業用地下水資源を開発するため、砂川地下ダムと福里地下ダムの2つの地下ダムを主な水源とした国営かんがい事業を1987年に着工した。これらの2つのダムの総容量はおよそ2,000万 m^3 であり、着工当時世界一スケールの大きい地下ダムであった。Table 1に地下ダムの諸元を示す。地下ダムの建設によってダム軸の最深部における不飽和帯の厚さは、砂川地下ダムで37mから13mに、福里地下ダムで13mから5mに減少した。止水壁の建設には主に原位置攪拌工法が使用された。原位置攪拌工法は現場で掘削・破碎した岩石をそのままコンクリートの骨材として利用し、連続壁を建設する工法である。貯留された地下水は、147の管井によって揚水され、ファームポンドで一度蓄えられた後、パイプラインを通して島の全域に供給される。事業は2001年に完了し、両ダムとも現在満水であり、水の供用が始まっている。

Table 1 地下ダム諸元
Specifics of the two subsurface dam systems

ダム名	砂川主	福里主	福里副1	福里副2
堤高 (m)	50	27	21	6
堤長 (m)	1,677	1,790	786	332
天端標高 (m)	31.0	46.0	46.0	46.0
越流余裕高 (m)	13.0	5.0	41.0	26.0
流域面積 (km^2)	7.2	12.4		
有効貯水量 ($千m^3$)	6,800	7,600		
総貯水量 ($千m^3$)	9,500	10,500		

調査方法

砂川地下ダム貯留域内の地下水観測孔39箇所を選定し、事業完了後の2003年においてそれぞれの地点で地下水を採取し、水質分析を行い、事業期間中の2000年およびそれ以前に行われた水質分析結果と比較した。Fig.3に観測地点を示す。基盤は断層の間で地下谷構造を形成しており、地下水は図中左上の集水域境界から右下の太平洋に向かって流れている。砂川地下ダム貯留域内における土地利用は主にサトウキビ畑であるが、ダム軸から上流側約1.5km離れた付近には集落が存在しており、畑は少ない。また大野越粘土は右岸側に分布してい

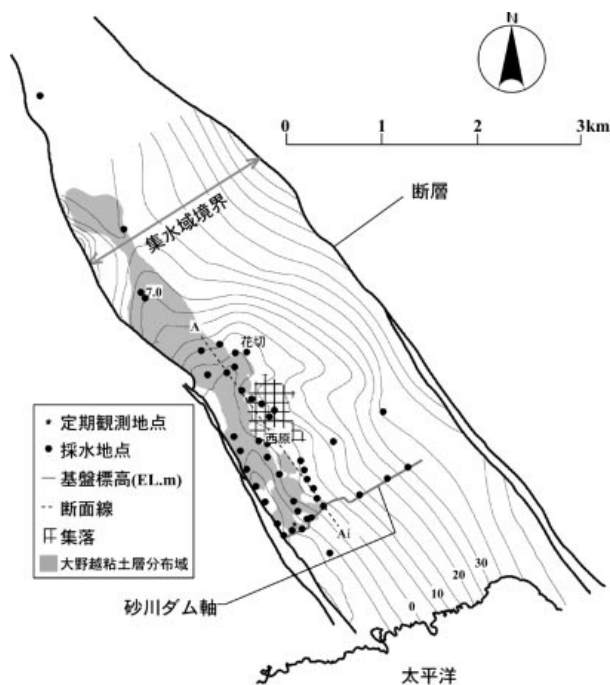


Fig.3 採水地点位置図
Sampling points

る。

地下水観測孔の口径は50mm~100mmであった。採水には径40mmのボーリング孔内水採取用のペーラーを用い、これを地下水面下5mまで降ろした後引き上げて試料水を採取した。2003年においては水質の鉛直分布を確認するため、地下水面下1m, 5m, 10m, 以深10m毎の深度において採水を行った。同じ観測孔で複数の深度の地下水を採取する場合は、深度の浅いものから順に採取した。また採水と同時に地下水の電気伝導度、pHを測定した。採取した試料は研究室に持ち帰り硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素の含有量を分析した。分析には東亜DKK株式会社製ICA-2000イオンクロマトグラフ装置(ノン・サプレッサタイプ)を使用した。分離カラムは同社製PCI-230(陰イオン), PCI-311S(陽イオン)を使用した。分析した結果は濃度分布図として表し、事業期間中(供用開始前)、事業完了後(供用開始後)、地下ダム完成前(既存試料)のそれぞれについて比較した。また、ダム軸直近の観測孔(Fig.3の定期観測地点)において1箇月毎に測定された地下水面下5mの硝酸態窒素濃度について、地下ダム建設前後の変動を比較すると共に、測定値の経年変化と宮古島における化学肥料の年間販売量とを比較した。

調査結果と考察

1 硝酸態窒素濃度の平面分布

採水した試料を分析した結果、亜硝酸態窒素は1mg/l未満、アンモニア態窒素は全く含まれなかった。そのため硝酸態窒素濃度についての調査結果を示す。

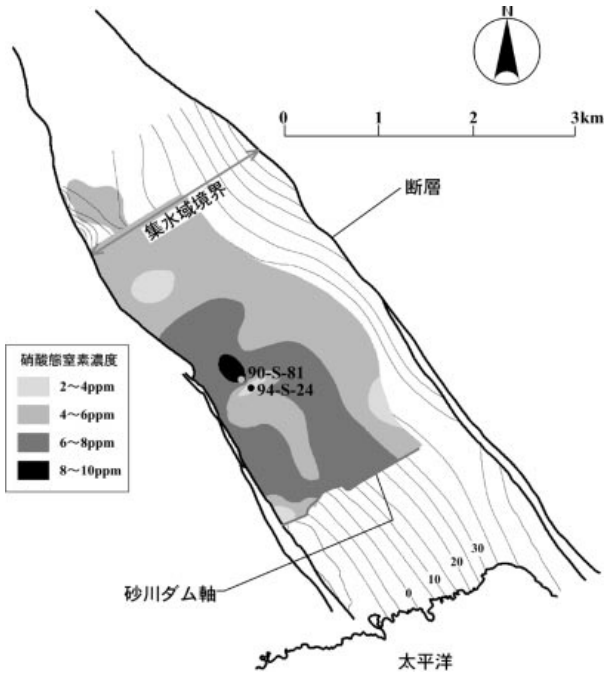


Fig.4 硝酸態窒素濃度分布 (2003年)

Distribution of nitrate nitrogen concentration in 2003

2003年6月における砂川地下ダム流域内で採取した地下水の硝酸態窒素濃度は2.14 ~ 9.03mg/lの範囲内であった。Fig.4に地下水水面下5mにおける硝酸態窒素濃度の平面分布を示す。地下ダム流域内のほとんどで硝酸態窒素濃度は4mg/l以上であった。全体的には基盤深度が小さい左岸側 (図の右側) での濃度が低く、基盤深度が大きい右岸側での濃度が高い傾向を示した。地下水水面下5mにおいて最も濃度が高かったのはFig.4に示す観測孔90-S-81の8.34mg/lであり、次いでこの地点より約150m上流 (図の左上方向) の観測孔における8.20mg/lであった。この付近を中心としたダムの上流域に、硝酸態窒素濃度が6mg/l以上の比較的濃度が高い領域が見られた。94-S-24観測孔周辺および下流側1.2kmの範囲では硝酸態窒素濃度が2 ~ 6mg/lと比較的低濃度であり、その周囲は硝酸態窒素濃度がやや高く、6 ~ 8mg/lの値を示した。またダム軸最右岸直上流の複数の観測孔で、周辺より低い濃度が観測された。

2000年における砂川地下ダム流域内で採取した地下水の硝酸態窒素濃度は2.69 ~ 9.05mg/lの範囲内であった。Fig.5に地下水水面下5mにおける硝酸態窒素濃度の平面分布を示す。2003年の観測結果同様、地下ダム流域内のほとんどで硝酸態窒素濃度は4mg/l以上である。2003年度の調査結果と比べて、全体的に基盤深度が大きい右岸側の、濃度が比較的高い (6mg/l以上の) 領域が広い。最も濃度が高い領域は2003年の調査時とほぼ同じであった。またダム軸直上流中央部に8mg/lを越える高濃度帯が存在しており、2003年の調査時と明らかに異なる濃度分布を示していた。またダム軸最右岸直上流の観測孔1箇所周辺より低い濃度が観測されたが、

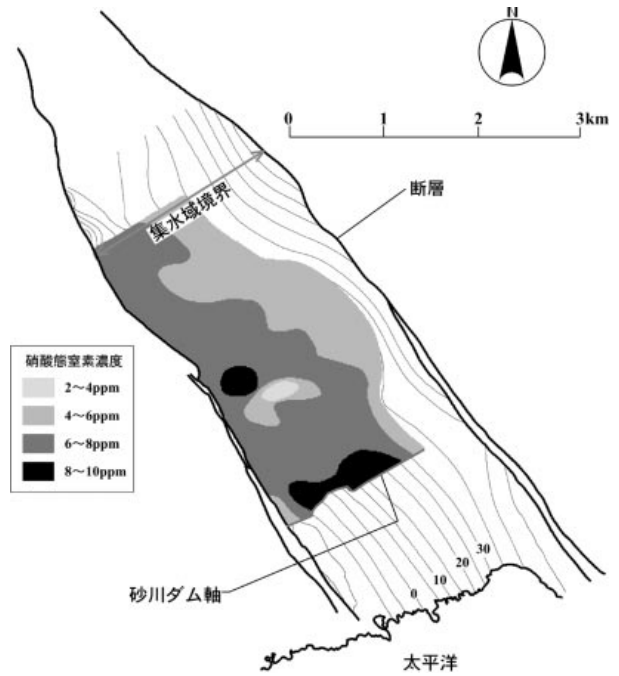


Fig.5 硝酸態窒素濃度分布 (2000年)

Distribution of nitrate nitrogen concentration in 2000

その値は2003年より高い値であった。

Fig.6に地下ダム完成2年前の1991年6月に農用地整備公団 (当時) によって観測された硝酸態窒素濃度の平面分布を示す。当時は観測点数が少なかったため観測地点と濃度を図上に表示した。硝酸態窒素濃度は7.0 ~ 11.9mg/lの範囲内であった。当時の観測点数が少ないので概略的にしか濃度分布を把握することはできないが、2003年および2000年の観測結果と比較して、全体

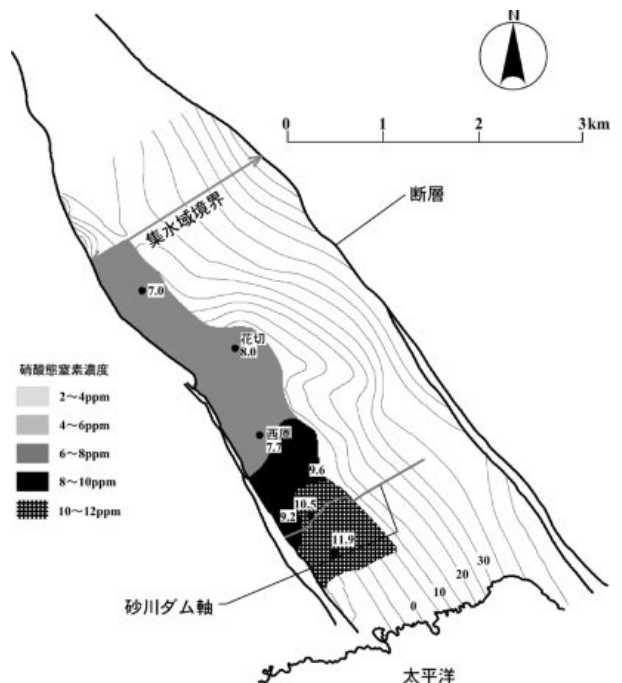


Fig.6 硝酸態窒素濃度分布 (1991年)

Distribution of nitrate nitrogen concentration in 1991

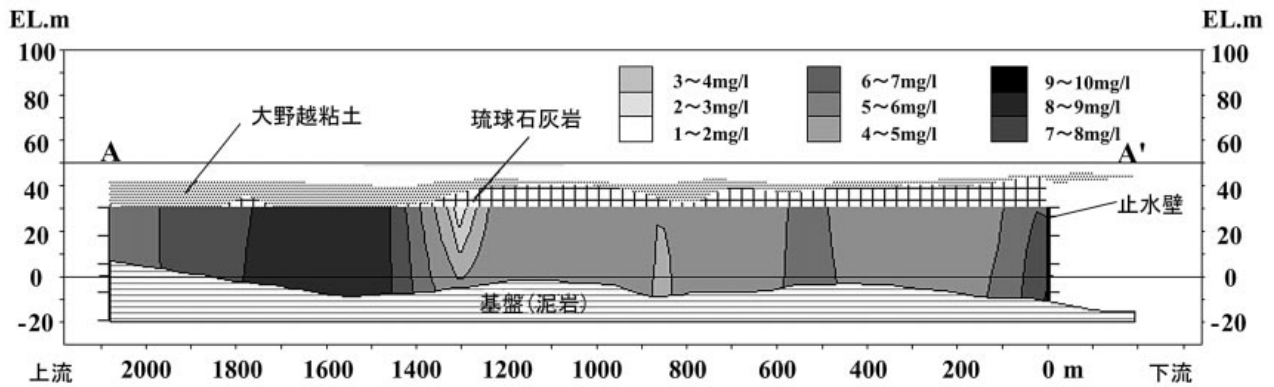


Fig.7 硝酸態窒素濃度分布断面 (2003年)
Profile section of nitrate nitrogen concentration in 2003

的に硝酸態窒素濃度が高く、また下流に行く程濃度が高くなる傾向にある。2003年および2000年の観測時に硝酸態窒素濃度が周囲より低かった箇所(94-S-24付近)での観測は行われていないが、この箇所より上流側の観測地点(花切)より、下流の観測点(西原)での硝酸態窒素濃度がやや低くなっている。

2 硝酸態窒素濃度の鉛直分布

Fig.7に2003年に測定した地下水中の硝酸態窒素濃度の鉛直分布を断面図として示す。断面線はFig.3に示すとおりである。全体的に同じ観測地点においては深度によって硝酸態窒素濃度はほとんど変化しなかったが、一部の観測孔については深度が増すにつれて濃度が高くなった。深度毎の硝酸態窒素濃度の平均値は、地下水面よりの深度(以降地下水深と呼ぶ)1mで5.94mg/l、3m

で6.00mg/l、5mで6.00mg/l、10mで6.15mg/l、20mで6.26mg/lであった。Fig.7において地下水面近くで濃度が低い箇所(止水壁からの距離約1,300m)は、Fig.4で濃度が最も低い箇所であった94-S-24観測孔である。この94-S-24孔について硝酸態窒素濃度と、電気伝導度の深度別分布をFig.8に示す。図より明らかとなっており、硝酸態窒素濃度は地下水深1mでは1.38mg/lであったものが、深度を増すにつれて濃度が高くなり、地下水深10m以深は6mg/l前後の値で推移した。これに対して電気伝導度は概ね60ms/mの値を取り、深度による変化はほとんど無い(地下水深27m以深の電気伝導度が高いのは、地下水位観測孔の孔底に溜まっている物質の影響と考えられる)。

3 考察

a. 窒素濃度分布・経年変化とそのメカニズム

Fig.6より、地下ダムによって地下水流動が遮断される以前は、下流ほど硝酸態窒素濃度が高い傾向にあった。一般に地下水中の溶存物質の総量は、帯水層中を流動する間に物質が地下水中に溶解されるので、かん養後の流動距離に比例して大きくなる。しかしこの過程で地下水に溶解される物質はNa, K, Mg, Ca, CO₃, SO₄等であり、硝酸は帯水層を構成する物質には含まれない。硝酸は主に施肥によって土壤水に付加され、これが不飽和帯を鉛直浸透して地下水に付加されると考えられる。Fig.4およびFig.5より、地下水中の硝酸態窒素濃度は基盤標高が高く、大野越粘土層が分布していない左岸で低い値を示していることから、地下水に付与される硝酸濃度は、土壤帯が厚い大野越粘土層分布域で比較的高く、大野越粘土層分布域を流動する距離が長くなれば地下水中の硝酸態窒素濃度が上昇すると推定される。台風等の豪雨時にはEric et al. (2002) が指摘しているように、不飽和帯の大間隙を伝う速い浸透が起こり、しばしば希釈によって濃度分布が変化していたと考えられる。Fig.4およびFig.5に示すように94-S-24孔周辺の硝酸態窒素濃度が低くなっている。これが大間隙を通る速い浸

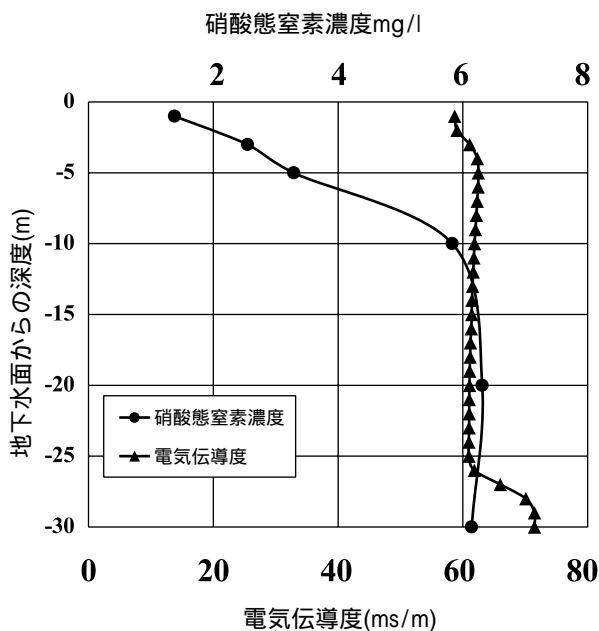


Fig.8 94-S-24における水質鉛直プロファイル (2003年)
Result of measuring of nitrate nitrogen and EC. at 94-S-94 in 2003

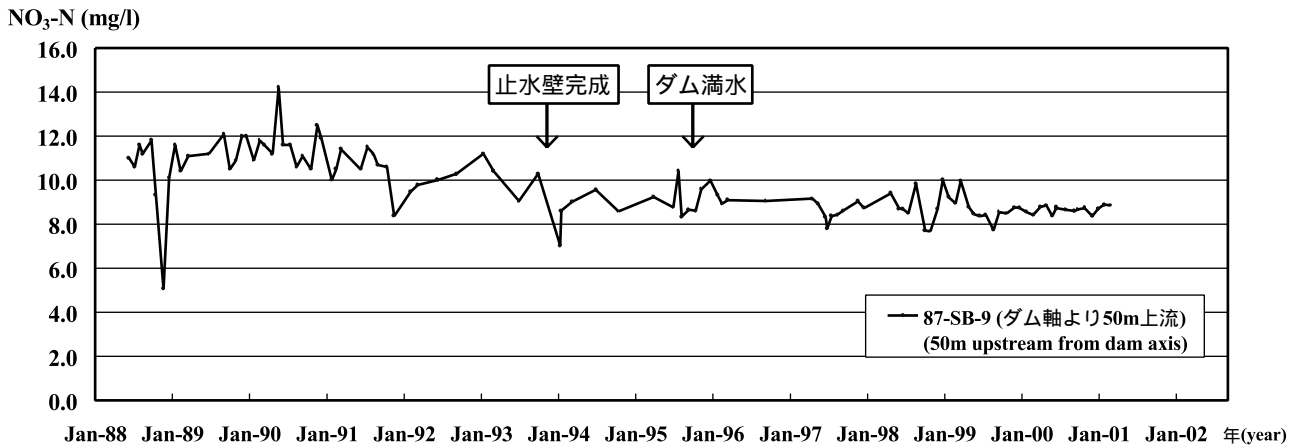


Fig.9 砂川地下ダムにおける地下水中の硝酸態窒素濃度経年変化

Fluctuation of the concentration of NO₃-N in groundwater at the catchment area of the Sunagawa subsurface dam

透による希釈によるとすると、溶存量の小さい水が付加され、この一帯の地下水の電気伝導度は小さくなるはずであるが、Fig.8に示すように電気伝導度の鉛直分布は深度に対してほぼ一様である。このことは94-S-24孔周辺で地下浸透している水は、不飽和帯中の浸透速度は周囲の硝酸態窒素濃度が高い領域と同等であるが、硝酸の付加量が少ないことを示している。94-S-24孔周辺は、小中学校等もある砂川地下ダム貯留域の中で最も大きな集落であり、畑等の窒素負荷源が少ないことから、不飽和浸透水の硝酸態窒素濃度が低くなっていると考えられる。

Fig.4とFig.5はどちらも地下ダムが満水位に達した後の測定結果である。両者を比較するとダムが供用されていない2000年にはダム軸周辺では比較的高い濃度の硝酸態窒素濃度を示していたが、ダム供用後の2003年にはこの高濃度帯が消滅したことが分かる。条件の違いはポンプによる取水の有無のみであるので、ダム完成後一時的にダム軸直上流に比較的高い硝酸態窒素濃度を持つ地下水が滞留していたものが、ポンプによる揚水が開始されて水が循環することによって、濃度が平均化されたと考えられる。

Fig.9に、砂川地下ダムのダム軸直上流に位置する地下水観測孔（87-SB-9孔、位置についてはFig.3に として示す）における硝酸態窒素濃度の経年変化を示す。全体的には硝酸態窒素濃度は横ばいに近い漸減傾向で推移している。Table2に止水壁完成前（1988～1993年11月）、止水壁完成後満水位達成まで（1993年12月～1995年9月）、満水位達成後（1995年10月～2001年2月）のそれぞれの期間について、87-SB-9孔における地下水5mの硝酸態窒素濃度の平均値、分散、標準偏差および相対標準偏差を示す。

硝酸態窒素の平均濃度について止水壁の完成前後を比較すると、完成前は10.8mg/lであったものが、完成後はダム満水前が8.82mg/l、ダム満水後は8.74mg/lである。この結果とFig.9を併せ見ると、硝酸態窒素濃度は

Table 2 止水壁完成前後の硝酸態窒素濃度の変動
Fluctuation of the concentration of NO₃-N in ground water before and after the completion of cut-off wall

期間	平均	分散	標準偏差	相対標準偏差
止水壁完成前	10.8	1.72	1.31	0.121
止水壁完成後 ～ダム満水	8.82	0.75	0.87	0.0984
ダム満水後	8.74	0.22	0.47	0.0547

1993年頃までは微減傾向にあり、その後はほぼ横ばいであると言える。濃度変化のばらつきを示す分散、標準偏差、相対標準偏差のいずれも、ダム満水後は止水壁完成前の半分以下である。これは硝酸態窒素濃度の変動幅が止水壁の完成による影響によって小さくなっていることを示している。その理由としては、地下ダム満水後は豪雨による希釈が生じて、帯水層に地下水がより多く蓄えられているので、地下ダム完成前と比べて希釈効果が小さくなっているためと考えられる。地域の地下水保全計画という観点から見ると、濃度の変動幅が小さいということは、少ない観測回数で全体の傾向を知ることができ、モニタリングの頻度を少なくできる。

b 地下ダム流域における窒素濃度と施肥量の関係

中西ら（2001）は宮古島の9つの地下水流域を対象に、環境へ排出された窒素の地下水への付加率を、実測された地下水の窒素濃度と環境への窒素投入量から重回帰分析により推定し、その割合は肥料が56.5%、家畜ふん尿が18.6%、生活排水が8.4%、自然循環窒素が17.0%であるとした。一方でFig.8に示す様に、不飽和帯から地下水面に付与される浸透水の電気伝導度が、帯水層にある地下水と同程度に高い事から、硝酸を含んだ水の不飽和帯における浸透速度は大間隙によるものを除いて小さいことが予想される。長田・加藤（1990）は福里地下ダム流域の加治道水源（Fig.2）における地下水中の硝酸態窒素濃度と、宮古島全域における化学肥料

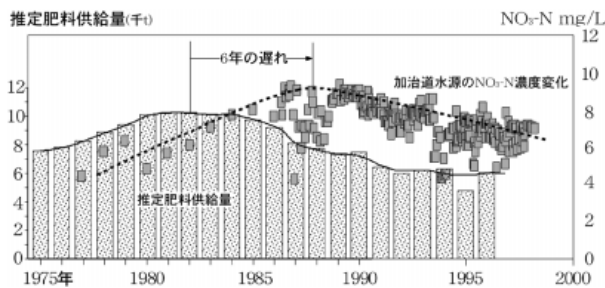


Fig.10 宮古島の肥料販売量と地下水中の硝酸態窒素濃度の比較

Comparison between amount of sales of fertilizer in Miyakojima Island and nitrate nitrogen concentration in groundwater

の年間販売量を比較し、化学肥料の販売量の減少と、地下水中の硝酸態窒素濃度上昇の停止が調和的であることを明らかにした。Fig.10は当時の長田・加藤（1990）による比較図に、最近のデータを加筆したものである。販売量のデータは中西（2000）を参考にした。肥料の販売量は1982年にピークに達した後、サトウキビ価格の低迷による栽培面積の減少等の影響で、漸減している。これに対して地下水中の硝酸態窒素濃度は1988年にピークに達し、その後低下している。肥料販売量と地下水中の硝酸態窒素濃度のピークには6年のタイムラグがある。肥料販売量が流域への窒素投入量に比例すると仮定すれば、地表で発生した窒素負荷が地下水中の硝酸態窒素濃度として反映されるまでの期間はおよそ6年である。田代・高平（2001）は、宮古島における肥料・家畜排泄物・生活排水による窒素負荷量を統計データから推定し、1976～1991年度の窒素負荷量と島内13箇所の地下水の硝酸態窒素濃度の平均値との比較から、地表で発生した窒素負荷が7年後に地下水硝酸濃度として反映されるとしており、本研究結果はこの宮古島全体の値と概ね一致している。また、宮古島における肥料販売量がほぼ横ばいであることから、今後暫くは地下水中の硝酸態窒素濃度は横ばいの傾向を示すと予想される。

結 言

本研究では止水壁が完成した沖縄県宮古島の地下ダム流域において、地下ダム建設による水質環境の変化を解明するため、39箇所の地下水観測孔において地下水の硝酸態窒素濃度および電気伝導度を深度毎に測定した。また、ダム軸直近の観測孔において1箇月毎に測定された地下水面下5mの硝酸態窒素濃度について、地下ダム建設前後の変動を比較すると共に、測定値の経年変化と宮古島における化学肥料の年間販売量とを比較した。水質環境の変化に関して解明されたことは、以下のとおりである。

地下ダムの建設後、ダム軸直上流に硝酸態窒素濃度が

高い領域が見られたが、ダムの供用開始後この高濃度帯は消失する。このことはポンプの運転によって水が循環したことによると推定される。

地下水中の硝酸態窒素濃度の月毎の測定値の変動幅は、ダム満水後小さくなる。このことは、地下ダム満水後は豪雨による希釈が生じて、帯水層に地下水がより多く蓄えられているので、地下ダム完成前と比べて希釈効果が小さくなっているためと考えられる。このため、より少ない観測回数で全体の傾向を知ることが可能である。

肥料販売量と地下水中の硝酸態窒素濃度のピークのずれから、地表で発生した窒素負荷が地下水中の硝酸態窒素濃度として反映されるまでの期間は、およそ6年と推定された。宮古島における肥料販売量がほぼ横ばいであることから、今後暫くは地下水中の硝酸態窒素濃度は横ばいの傾向を示すと予想される。

本研究では硝酸態窒素濃度と電気伝導度を地下水流動機構を解明する指標として用いたが、降雨後数日で地下水面に到達する様な大間隙流の存在を明らかにするには至っていない。また硝酸濃度の不均一性には土壌及び不飽和帯の厚さ、マクロポア等の卓越流の存在、土地利用状況、生活排水の浸透等、様々な要素が影響している可能性があるが、どの程度寄与しているかは明らかにされていない。今後は環境同位体等を用いて、土壌帯から地下水面に至る不飽和帯での地下水の浸透機構及び水質形成機構を、更に明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) Eric W. Peterson, Ralph K. Davis, J. V. Brahana and Holly A. Orndorff (2002) : Movement of nitrate through regolith covered karst terrane, northwest Arkansas, *J. Hydrol.* 256, 35-47
- 2) Hanson, G & A. Nilsson (1986) : Groundwater Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries, *Groundwater*, 24 (4), 497-506
- 3) H. E. Legrand and V. T. Stringfield (1971) : Development and Distribution of Permeability in Carbonate Aquifers, *Water Resource Reserch.* 7 (5), 1284-1294
- 4) 堀 和明・茅根 創 (2000) : 琉球列島中・南部の島棚地形の特徴とその形成過程について, 地理学評論, 73A-3, 161-181
- 5) 今泉眞之・奥島修二・塩野隆弘・竹内睦雄・小前隆美 (2002) : 琉球石灰岩帯水層における塩水進入の実態 - 米須地下ダム流域を例として -, 農土論集, 221, 11-23
- 6) 今泉眞之・前川統一郎・長田実也・富田友幸 (1988) : 宮古島地下ダム計画の水理計算シミュレ

- ーションについて, 地下水学会誌, 30, 11-23
- 7) 緑資源公団九州支社 (2001): 亜熱帯農業のための地下ダム
- 8) 森 一司・浅野将人・窪田正和・菅原利夫・白川俊明・桑原英紀 (1997): 宮古島砂川地下ダム流域に分布する琉球石灰岩の水文地質学的検討, 地質学雑誌, 103 (5), 463-474
- 9) 長田実也・加藤俊典 (1990): 地下ダムと水質問題 - 琉球石灰岩地帯における地下水の硝酸性窒素濃度の制御 -, 日本地下水学会秋季講演要旨, 52-55
- 10) 中西康博・高平兼司, 下地邦輝 (2001): 地下水窒素汚染における起源別窒素付加量の重回帰法による推定, 日本土壌肥料学会誌, 72 (3), 365-371
- 11) 中西康博 (2000): 地下水源開発に関連する水質への影響と対策に関する研究, 平成11年度宮古農業水利事業所県有委託事業報告書, 36-39
- 12) 沖縄総合事務局農林水産部 (1983): 皆福地下ダム試験施工誌
- 13) Satoshi Ishida, Motoi Kotoku, Eiichi Abe, M.A.Fazal, Takeo Tsuchihara, and Masayuki Imaizumi (2003): Construction of Subsurface Dams and these Impact on the Environment, *RMZ Materials and Geoenvironment*, 50 (1), 149-152
- 14) S. Nagata, N. Enami, J. Nagata and T. Katho (1993): Design and Construction of Cutoff Walls for Subsurface Dams on Amami and Ryukyu Islands in the Most Southwestern Part of Japan, *Hydrogeology, Selected Papers*, 1993 (4), 229-245
- 15) 田代 豊・高平兼司 (2001): 宮古島における窒素負荷発生量と地下水窒素濃度の長期的推移, 水環境学会誌, 24 (11), 733-738

Fluctuation of Concentration of Nitrate Nitrogen in Groundwater of Reservoir Area of Subsurface Dam in Miyakojima Island, Japan

ISHIDA Satoshi, ABE Eiichi, TSUCHIHARA Takeo and IMAIZUMI Masayuki

Summary

In Japan, an irrigation project with construction of 147 tube wells and two subsurface dams which store 20,000,000m³ of groundwater had started in 1987 and had completed in 2001 in Miyakojima Island. The island consists of Quaternary limestone with a high permeability and basement of Tertiary mudstone. Concentration of nitrate nitrogen in groundwater had been monitored at the typical observation wells in the reservation area of subsurface dam every month since 1975. Concentration of nitrate nitrogen and electric conductivity in groundwater were also measured at 39 wells in 2000 and 2003. The fluctuation of concentration of nitrate nitrogen in groundwater showed three features. 1) The concentration of nitrate nitrogen in the groundwater increased gradually, and was 11mg/l in 1988; afterward the concentration of nitrate nitrogen in the groundwater decreased gradually, and was 9mg/l in 2001. The amount of the fertilizer sales was the largest in 1982 in the Island. These results suggest that the nitrate nitrogen of the fertilizer origin infiltrated to groundwater table in six years. 2) Monthly fluctuation of the concentration of nitrate nitrogen in groundwater had decreased after the completion of the subsurface dam. The fluctuation of the nitrate-nitrogen concentration would depend on the dilution caused by a lot of precipitation in typhoon and rainy season. The result shows that the fluctuation of the concentration of nitrate nitrogen in groundwater by the dilution decreased because the amount of the storage groundwater increased. 3) The concentration of nitrate nitrogen in groundwater increased partially around the cut-off wall after the construction of the subsurface dam. After groundwater began to be used, the concentration of nitrate nitrogen in the groundwater around the cut-off wall was almost same as the concentration of surrounding. The reason for this change would be that the groundwater flowed faster by pumping. These three results suggest that the fluctuation of the concentration of nitrate nitrogen in groundwater can be understood by few monitoring after the subsurface dam is completed.

Keywords : subsurface dam , nitrate nitrogen , limestone , groundwater , fertilizer