

6. その他の対策事例

前章では、硝酸性窒素総合対策推進事業における浄化実証技術(岐阜県および福岡県で実施)を紹介したが、硝酸性窒素による汚染地下水に対する浄化技術については、これ以外にも多くの報告事例がある。

本章では、硝酸性窒素総合対策推進事業で実施したものではないが、今後、硝酸性窒素による地下水汚染へ取り組む際に参考となり得る技術や事例について、その幾つかを取り上げて記している。

6.1 宮古島

(1) 宮古島の水利概況

琉球諸島は、山地が島の主体をなす高島とサンゴ礁が隆起してできた台地が主体の低島に大別される。宮古島は低島の典型である。島の主要部は、数十万年前、海中で生成したサンゴ礁が地殻変動によって陸化した琉球石灰岩が、島の基盤であるシルト岩を主体とする島尻層群を不整合に覆っている。最高地点は野原岳の108.6m、平均標高は約60mである。帯水層を含む石灰岩層の厚さは3~60mで場所によって大きく異なる。

島の表層は透水性の高い暗赤色土が主で、その下層の石灰岩は侵食によって多孔質となり、雨水は石灰岩中を急速に降下浸透するので、地表流出は約10%にすぎない。浸透水は石灰岩層下の不透水性の泥岩を主とする島尻層群に達すると、そのまま地下水流となり、海岸部で湧水となって海に流出する。この地下水流は、断層によって複数の地下谷に分かれる(図6-1-1)。地下谷の平均的動水勾配は1/200といわれる。

宮古島における年降水量の平年値は約2,200mmで多雨地域に属すが、台風の頻度によって年次間の変動が大きく、上記のような島の水循環構造とも関連して、干ばつの被害を受けやすい地域でもある。島の水利用は昔から島民に過重な労働を強いてきた。古くは自然の石灰洞に降りて、湧水を汲み、担いで上がる時代から、戦後の掘り抜き井戸と天水の時代を経て、昭和42年には、3個所の湧水を主な水源として、全島水道化が実現した。現在の宮古島上水道給水人口は約49,000人で、普及率はほぼ100%である。配水総量は798万m³で、1人1日あたり447Lである。

昭和46年(沖縄本土復帰の前年)宮古島は大干ばつにおそわれ、主作物であるサトウキビの収量は平年の1/5にすぎなかった。宮古島には川がなく、農業用水(畑地灌漑用水)の取水ができない。昭和47年、農業用水源としての地下水利用と与那覇湾淡水化の二つの調査が開始された。昭和52年には実験用の皆福地下ダムが着工され、2年後に完成した(総貯水量70万m³、有効貯水量40万m³)。昭和63年には国営かんがい事業による砂川ダムと福里ダムの2個所の大規模地下ダムの建設が開始された(合計総貯水量2,000万m³、有効貯水量1,440万m³)。



図 6-1-1 宮古島の地下谷と湧水¹⁾

(2) 宮古島地下水の硝酸性窒素汚染

宮古島における最も古い地下水水質調査は、当時の琉球政府によって、昭和 41 年に全島 21 地点で行われている。その結果によると硝酸性窒素濃度は平均 1.95mg/L、最高値 3.74mg/L、最低値 0.23mg/L で、人間活動による硝酸性窒素汚染はごくわずかであったと判断される。

ところが、昭和 64 年の宮古島地下水水質保全対策協議会による全島 217 地点の湧水や井戸水を対象とする調査では、硝酸性窒素濃度は最高値が 22.7mg/L で、6.00～7.99mg/L の範囲にあったものが全体の 30.0%、8.00～9.99mg/L の範囲にあったものが、20.8%を占めていた。飲料水の基準値である 10mg/L を超えるものは 5.1%であった。また、この調査に平行して、平成元年 4 月～平成 2 年 3 月に 44 地点の地下水について毎月行われた調査では、硝酸性窒素濃度の年平均値は 1.92～13.58mg/L の範囲にあり、総平均は 7.58mg/L であった。昭和 41 年から 20 年後に地下水中硝酸性窒素は約 4 倍に増加したことになる。図 6-1-2 に島の主要 3 水源における昭和 51 年から平成 10 年までの硝酸性窒素濃度の推移を示す。

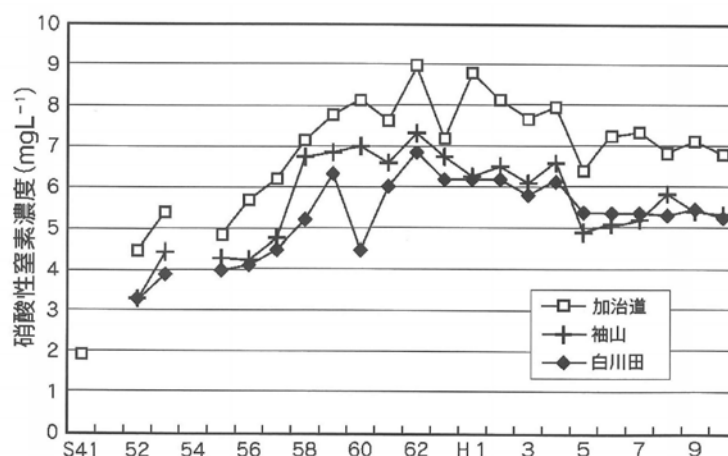


図 6-1-2 宮古島主要 3 水源の硝酸性窒素濃度の推移 1)

表 6-1-1 宮古島における窒素発生負荷量 1)

年度	肥料		家畜ふん尿		生活排水		自然循環		計		単位面積当たり 発生負荷量 (kg/ha)
	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	
1989	1,389	62.0	442	19.7	233	10.4	175	7.8	2,239	100.0	140.9
1990	1,381	61.6	456	20.3	231	10.3	174	7.8	2,242	100.0	141.1
1991	1,147	58.4	526	25.1	230	11.0	188	9.0	2,091	100.0	131.7
1992	1,087	52.0	540	25.8	224	10.7	241	11.5	2,092	100.0	131.7
1993	1,131	55.4	566	27.7	225	11.0	121	5.9	2,043	100.0	128.6
1994	1,144	55.0	463	27.1	227	10.9	148	7.1	1,982	100.0	131.1
1995	1,112	53.9	560	27.1	227	11.0	166	8.0	2,065	100.0	129.9
1996	947	47.6	635	32.0	232	11.7	174	8.7	1,988	100.0	125.1
1997	865	45.1	667	34.8	227	11.8	159	8.3	1,918	100.0	120.7
1998	855	44.4	684	35.5	228	11.8	159	8.3	1,926	100.0	121.2

表 6-1-2 宮古島の地下水への年間窒素到達負荷量 1)

年度	肥料		家畜ふん尿		生活排水		自然循環		計(A)		年降水量 (mm)	地下水への浸透量 ($10^6 m^3$)	推定窒素 濃度(A/B) (mg/L)
	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)			
1989	555	51.2	195	17.9	161	14.8	175	16.1	1,086	100.0	1,964	124.8	8.70
1990	552	50.8	201	18.5	159	14.7	174	16.0	1,086	100.0	1,954	124.2	8.74
1991	459	44.2	232	22.3	159	15.3	188	18.1	1,038	100.0	2,115	134.4	7.72
1992	435	40.7	238	22.3	154	14.4	241	22.6	1,068	100.0	2,713	172.4	6.19
1993	453	46.3	250	25.5	155	15.9	121	12.4	979	100.0	1,361	86.5	11.32
1994	458	45.3	248	24.6	156	15.5	148	14.6	1,010	100.0	1,659	105.5	9.57
1995	445	43.9	247	24.3	156	15.4	166	16.3	1,014	100.0	1,861	118.3	8.57
1996	379	38.2	280	28.2	160	16.1	174	17.5	993	100.0	1,952	124.1	8.00
1997	346	36.2	294	30.8	156	16.3	159	16.7	955	100.0	1,788	113.7	8.40
1998	342	35.6	302	31.4	157	16.4	159	16.6	960	100.0	1,789	113.7	8.44

この窒素汚染源については、耕地に施用された肥料、家畜排せつ物、し尿の土壌処理を含む生活排水（宮古島は全域下水道未整備）などが考えられる。宮古島の地下水への汚染源別年間窒素負荷発生量と地下水への負荷量は、それぞれ表 6-1-1 と表 6-1-2 のように推定されている。肥料、家畜排せつ物、生活排水、自然による負荷の 4 フレーム中では、肥料のシェアが最も大きい。平成元年～平成 10 年の 10 年間に、肥料は徐々に負荷量を減らし、家畜排せつ物は増加の傾向にある。

島面積の 46.2%が耕地で、森林は 15%である。耕地は作付面積の 80%以上をサトウキビが占めている。宮古島における窒素肥料の使用量は年間約 110kg/ha と推定されている。日本全体の水田以外の耕地に施用される窒素量の平均は平成 7 年以降、ほぼ 120kg/ha 程度で横ばいとなっており、とくに宮古島における窒素施肥量が多いわけではない。それにもかかわらず、宮古島で地下水の硝酸汚染が問題になるのは、農業面源対策について p256 にある全国平均の試算では溶脱率を 25%としたが、ここではそれがかなりの高率になるためと考えられる。中西(1997)²⁾は、宮古島の耕地土壌の主体をなす暗赤色土を用いた深さ 1 m のライシメータ試験によって、サトウキビの夏植栽培では、基肥施用後 100 日間で、基肥窒素の約 70%が地下に溶脱することを見ている。図 6-1-3 に示した湧水の硝酸性窒素濃度の季節変化においても、サトウキビへの施肥が集中する 10~12 月に濃度が上昇し、施肥時期を終えると濃度低下に転じる繰り返しが見られる。

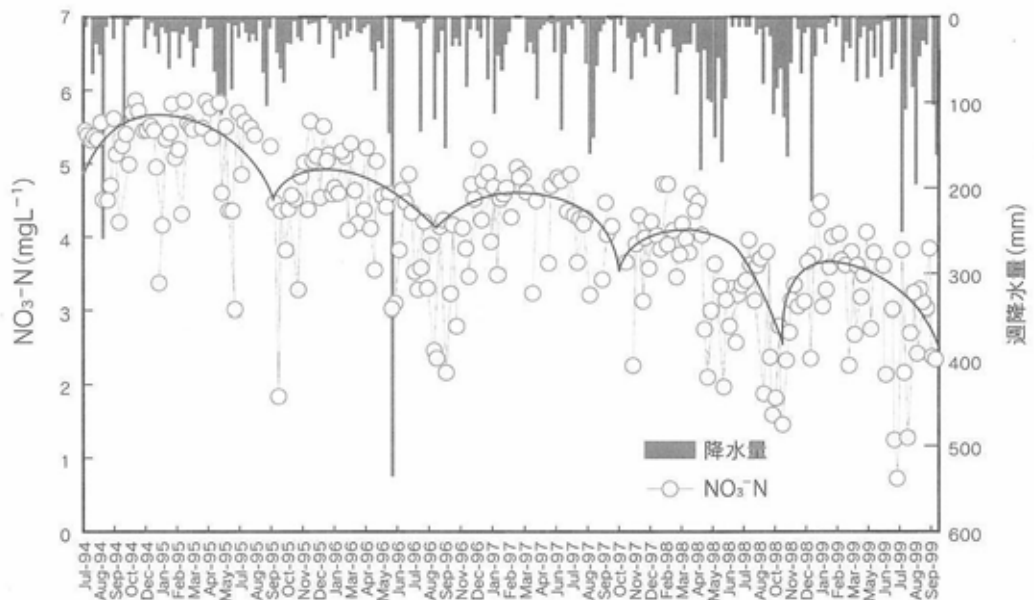


図 6-1-3 野城湧水中の硝酸性窒素濃度の推移¹⁾

中西(1997)は、宮古島の硝酸汚染機構を次のように定量化している。

地下水中の硝酸性窒素濃度は、農耕地帯では SO_4^{2-} 、集落周辺では Mg^{2+} や Cl^- と有意の正の相関が認められ、前者は硫安の施肥に由来し、後者は家畜排せつ物や生活排水に由来すると考えられる。

全島 22 の地下水流域から独立性の高い 8 流域について、化学肥料、家畜排せつ物、生活排水の原単位から求めた窒素発生負荷量を説明変数、地下水中の硝酸性窒素量を目的変数とする重回帰分析を行い、各説明変数の回帰係数を発生負荷の地下水への到達率とみなし、さらに他の変動要因も考慮して、全島に適用する到達率として、化学肥料 0.4、家畜排せつ物 0.5、生活排水 1.0、自然(降水) 1.0 を設定した。

原単位法による窒素発生負荷量に上記の到達率を乗じて地下水への総負荷量とし、これを降水の浸透量で除して地下水硝酸性窒素濃度を求めた。宮古島全島の地下水への窒素総負荷量は 1.11Gg であり、その 40.4、16.3、27.0、16.3% がそれぞれ化学肥料、家畜排せつ物、生活排水、自然土壌に由来する (図 6-1-4)。

上記の推定は窒素同位体比法によって検証された。

なお、文献 1) と 2) では、窒素発生負荷量から地下水への到達量を推定する係数 (到達率) が異なっており、表 6-1-1 及び表 6-1-2 の内容と上記 項の記述は必ずしも一致しない。それでも、肥料が最大の寄与率となることに変わりはない。

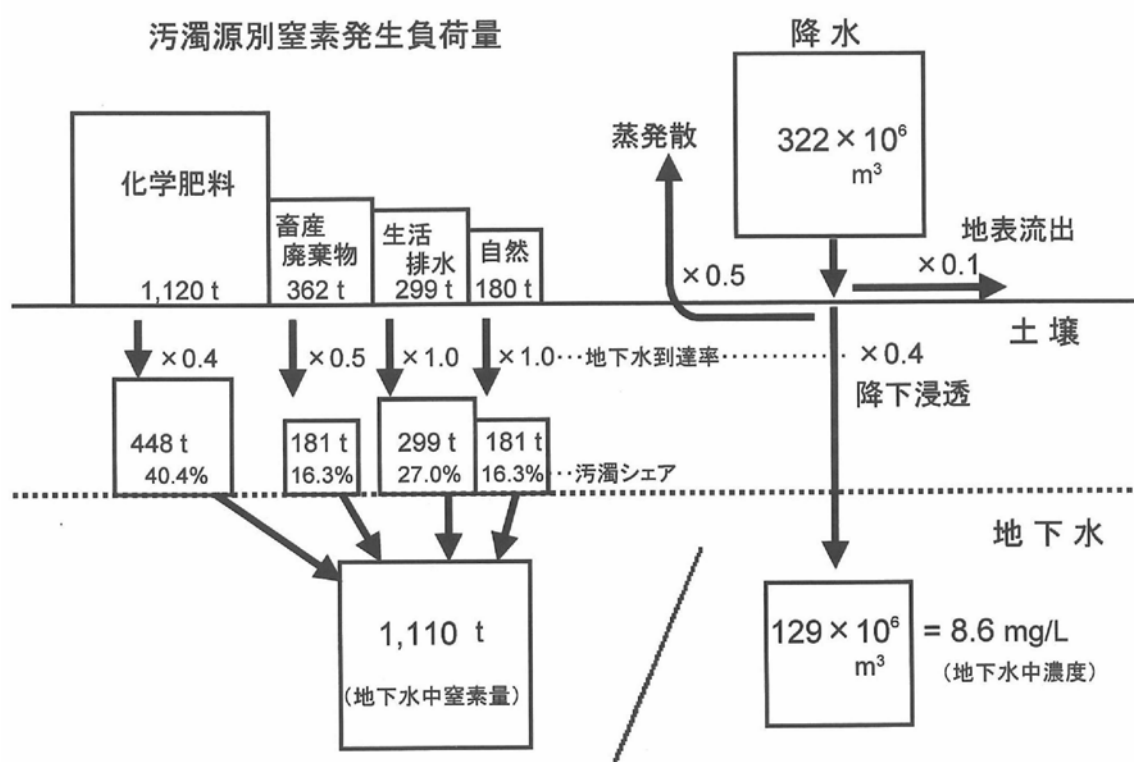


図 6-1-4 宮古島における地下水中硝酸性窒素の由来²⁾

(3) 硝酸汚染対策

1) 地方組織としての対応の経緯

昭和 62 年頃から全国的に地下水汚染問題が報道されるようになり、平良市議会その他地方議会でも質問として取り上げられた。上水道水源のすべてを地下水に依存する島としては、一大関心事であった。当時の宮古島上水道企業団年報に記載された水質試験結果では、37 の調査項目のほとんどは水質基準を大きく下回っていたが、硝酸性窒素だけは、飲料水基準の 10mg/L に近づいていた。何らかの対策の取り組みが必須と考えられ、昭和 62 年宮古島地下水保護管理条例が施行されると、平良市企画室を中心として、「宮古島地下水水質保全対策協議会」の設置が検討された。昭和 63

年 6 月に島内 1 市 2 町 1 村の首長と企業団企業長が発起人となって、協議会は発足した。

平成元年には協議会に学術調査部会（沖縄県公害衛生研究所長を部会長とする 7 名の専門家で構成）が設置され、汚染原因の調査が始められた。水質調査では宮古本島 22 流域のすべてを含む 32 地点と伊良部島など離島の 20 地点、計 52 地点から月 1 回の試料採取が行われた（平成元年 4 月から平成 12 年 3 月までの調査結果のうち無機態窒素三態と大腸菌群数の全データが文献 2)の巻末に載せられている）。地下水調査と平行して行われた地上環境調査では、肥料の種類や施肥状況が調査され、当初から農業面源の寄与が大きく認識されていたことがうかがえる。

平成 10 年 5 月に NHK のドキュメンタリー番組で、宮古島の硝酸性窒素による地下水汚染が取り上げられ、島内に大きな衝撃を与えた。沖縄本島の女性県職員が乳児に与えるミルクを汚染水では作れないことを理由に宮古島への転勤を断ったり、宮古島産の泡盛が危険であるとの風評が広まったりしたという。

このころ、与論島や岐阜県各務原市など、宮古島以外でも硝酸性窒素による地下水汚染が問題となり、与論島では、すでに、農家に対して化学肥料の施用量を減らすよう指導が行われていた。協議会では、平成 11 年にこれら先進地における地下水質保全対策についての研究視察を行った。被害者がまた汚染者でもあり、行政側だけの対策推進は有効でないとの認識から、圏域住民の啓発活動の一つとして、「天女の水まつり」を企画し、毎年のもまつりとして定着させた。協議会は現在まで、学術調査、農法研究、セミナー、シンポジウムの開催協力などの活動を継続している。文献 1) は、これら活動の現在までの到達点を示している。

2) 対策の方向

宮古島地下水水質保全対策協議会における、硝酸性窒素による地下水汚染対策の基本方針は次のように集約できる（文献 1)の記載から要約）。

地下水の硝酸性窒素濃度を昭和 30 年代半ばのレベル（2 mg/L 程度）に還元することを目標にする。

地下水に負荷される窒素は農業と生活排水に由来するものが大半を占める。肥料に関しては、施用された肥料の作物による利用率を重視した施肥法に切りかえる。つまり、作物が必要とする時期に必要な量だけを与えることを徹底する。サトウキビ栽培においては、現在の速効性肥料から緩効性肥料の使用に変更する。

家畜排せつ物や生ごみを生産資源として農地にもどす手段を、地域全体の社会システムとして構築する。

生活排水については、下水道を整備し、集中処理する。処理水は再利用できる水質とする。処理過程でのライフサイクルアセスメントは重要である。

上記以外の産業廃棄物も資源として再利用するための技術を開発導入する。生活や観光産業の場における節水を推進する。そのため雨水利用を考える。かん養域としての森林を保全する。森林の破壊を防止するためには、何らか

の土地利用規制も必要である。

住民ひとりひとりの自覚を促すための学習、環境教育が、義務教育以上の段階でも、生涯教育として行われなければならない。同時に、環境保全に関する科学的な知識と新しい正確な情報を行政と住民が共有することが必要である。

地下水中の硝酸性窒素濃度に対して最も寄与率の高い施肥については、表 6-1-1 に見るように、平成 7 年から施肥量削減対策の実施によって施肥量が徐々に減少し、その結果として図 6-1-2、図 6-1-3 では、水道水源における硝酸性窒素濃度の横ばいないし低下傾向が現れ、着実な成果を見せている。

【参考文献】

- 1) 宮古島地下水水質保全対策協議会・宮古広域圏事務組合・宮古島上水道企業団：サンゴの島の地下水保全 - 「水危機の世紀」を迎えて - ，宮古島地下水水質保全対策協議会 10 周年記念誌 p.181 (2002)
- 2) 中西康博：沖縄県宮古島における農業が地下水汚染に及ぼす影響とその対策に関する研究，東京農業大学学位論文 p.203 (1997)