

亜熱帯島嶼における窒素の地下水への流出と制御

中西 康博*

Nitrogen Outflow to Groundwater and its Control in Sub-tropic Islands

Yasuhiro NAKANISHI*

* Miyako Sub-tropical Farm, Faculty of International Agriculture and Food Studies, Tokyo University of Agriculture, 72-2 Hukusato, Gusukube, Miyakojima, Okinawa 906-0103 Japan

1. はじめに

わが国の南西諸島には主としてサンゴに由来する琉球石灰岩により形成された島嶼・地域が多く存在する。これらの地域は通常、低平な地形で山地がなく、河川が発達しにくい。他方、平坦な地形と透水性の高い土壌・地質に加えて多雨条件にあるため、地下浸透した降水が地下水を涵養する。しかしながら、その地下水集水域は、島民の生活空間と重複することから、地下水水質は土地利用状況や住民の生活様態を直接的に反映しやすい。地形が低平であることから、これらの地域は全域的に農地・宅地等の開発が進展してきている。このような状況から一般に自然が豊かと評されるこれらの地域の地下水にも、主として農業由来の硝酸態窒素による負荷が大きくなっている。

本報では、湿润亜熱帯石灰岩島嶼といった、わが国では特殊な地域における地下水窒素汚染の発生機構と対策・制御についてこれまでの研究成果を示すと共に、同地域における地下水水質保全の社会的意義について考察する。

2. 地形・地質と地下水涵養機構

199の島々で構成される南西諸島（うち161島が沖縄県）は、地形・地質により表-1に示すように高島と低島に二分される。この分類において、高島には、その代表例として、沖縄島と石垣島の中・北部、西表島、奄美大島、徳之島が挙げられる。これらの島嶼では山地があるため、河川が発達しやすく、飲料水等の用水は河川水に依存する。

一方、低島では低平な地形のため河川が発達しにくい。しかしながら、地質条件によって地下水が涵養され、地下水系の発達には次に示す3つのタイプに分類される。

第1は、表層地質が石灰岩で、地質基盤は透水性の高い砂層等である場合である。その代表例が多良間島、伊良部島、南・北大東島である。これらのうち多良間島の地下水涵養機構を図-1に示した。同島では琉球石灰岩層と地質基盤となる砂層の透水性が共に高いため、海水位以下の部分には島の周囲から海水が全域的に侵入している。一方地表から浸透した雨水は、この浸入海水との間で、ヘルツベルグの法則にしたがって塩淡境界をつく

表-1 南西諸島の分類

	島の成因	地形	地質	土壌	水文	土地利用
高島	大陸性	山地	古期岩	酸性	河川	局所的
	火山性	大起伏	火山岩			沿岸・台地
低島	サンゴ礁	低平	琉球石灰岩	アルカリ性	地下水	全域的
	大陸性	小起伏	島尻層群			

出典：目崎（1988）を一部改変。

* 東京農業大学国際食料情報学部宮古亜熱帯農場 〒906-0103 宮古島市城辺字福里 72-2
E-mail : ynaka@nodai.ac.jp

キーワード：サトウキビ, 硝酸態窒素, 湿润亜熱帯, 石灰岩島嶼, 地下水

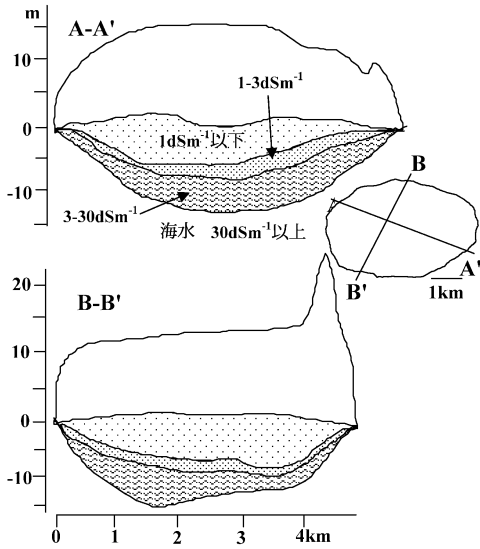
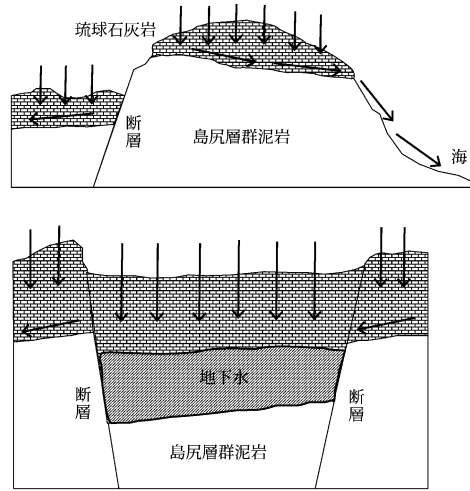


図-1 多良間島の地下水涵養機構

資料：沖縄総合事務局（1990）をもとに作成



图中、矢印は水の流れを示す。

図-2 宮古島の地下水涵養機構

り、淡水部は海水部の上に浮かんだような形態、いわゆる淡水レンズを形成し、地下水が涵養される（古川，1981）。

第2は地質基盤となる古期岩や火山岩の周囲を石灰岩が圍繞する島嶼で、伊江島、竹富島、波照間島、沖永良部島、与論島がその代表例である。この場合、地下水は島の周囲の塩淡水境界上に涵養される。

第3は基盤岩の上に琉球石灰岩が横たわっている場合で、宮古島、与那国島、沖縄島と石垣島の南部、喜界島などがその例である。これらのうち宮古島や喜界島、沖縄島南部には、地質基盤に島尻層群が分布する。これは中新世末から第四紀初めに堆積し、半固結～固結した灰色～青灰色を呈する泥岩を主に、砂岩、凝灰岩をはさむ地層で、層厚は厚い場所で2,000 m以上に達する（古川，前掲）。島尻層群は通常、透水性がきわめて低いので、地下浸透した降水はこの層に行く手を遮られ、その上位に位置する石灰岩の孔隙中に貯水され地下水となる。なお島尻層群と琉球石灰岩の透水係数はそれぞれ 10^{-6} ms^{-1} および 10^{-1} ms^{-1} とされる（長田・加藤，1990）。

この機構により地下水が涵養される宮古島の水理地質断面を図-2に示した。同図下の中央部分に示されているように、島が隆起した際にできた断層により、V字谷状に仕切られた区域は、地下水を貯水する役割を果たしている。同時に、これらの区域は、他との連絡の無い独立性の高い地下水流域となっており、いわば天然のライシメータとして、地下水汚染問題における因果関係や、物質の動

態や収支を検討する上で格好の条件を与えている。

3. 地下水への硝酸態窒素負荷の原理的機構

南西諸島のうち石灰岩を表層地質とし、低平な地形を有する島嶼・地域では、上述のように地下水の貯水機構が備わっている。降水の地下水涵養率は、例えば多良間島の場合は約58%、宮古島では約40%とされている（共に沖縄総合事務局調べ）。

このように、宮古島などの場合、豊富に貯水される地下水を従来、飲料水を初めとする用水全般に利用してきている。宮古島の地下水涵養量は、単純計算で年に約1億3千万 m^3 にも達することから、現状では、地下水の量的問題に強い危惧を示す必要は無いと言えよう。しかしながら、その質的变化に関しては、恒常的に監視する必要がある。

その理由は第1に、宮古島など低島の場合、地下水の涵養・集水域と住民の生活空間が重複するからである。図-3上に示したように、生活空間の背後に森林山地のある場合、河川水や地下水として流れ下る水を生活空間に入の手前で採取すれば、清廉な水質のまま用水することができる。一方、同図下のように、低平な地形で全域的な土地開発が進展した地域では、地下水集水域と住民の生活空間とが重複するため、地下水は農地、市街地、工業地等に由来する物質による影響を直接的に受けやすい。

さらに低島では、土壌の堆積量が少ないという状況がある。例えば宮古地域（宮古島を含む8島）の場合、農地土壌の約6割を薄い摩文仁統が占める（国土調査、

1984)。この土壌は通常20～30 cmほどの厚さで、その直下には石灰岩があることから、好氣的であると共に保水・保肥性に劣る。さらに、同地域は年平均気温23℃前後、年降水量2,000 mm前後という気象条件にある。

これらの条件は、集約的農業で施用される有機態窒素の無機化や無機態窒素の硝酸化成作用を迅速に促し、その結果生じる硝酸態窒素の多くは、薄い土壌に保持されずに、多量の降水により地下へ洗脱されやすいことを意味している。

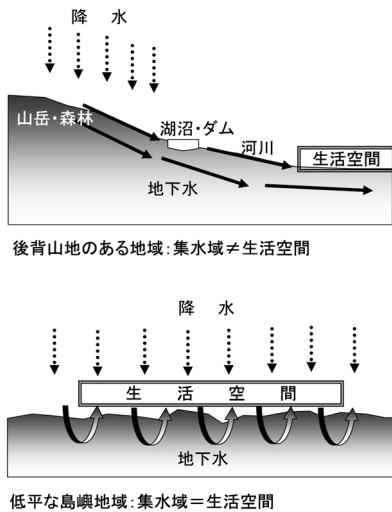


図-3 地形・土地利用の地下水水質への影響

4. 地下水への窒素負荷実態

ここでは南西諸島の低島である4地域を対象とした地下水水質のモニタリング結果について示す。なお各地域の概況は表-2に示した。

4.1 宮古島

宮古島では、地下水の硝酸態窒素濃度の上昇が1980

年代末に地域社会的に周知されたことを受け、宮古島地下水水質保全対策協議会が1988年に設立され、本問題の解決に尽力してきている（筆者はその協議会委員の一人として、地下水水質の分析、汚染機構の解明、対策等に関わってきている）。

その調査結果のうち、宮古島の地下水硝酸態窒素濃度の推移を図-4に示した。図中、1966年の値は、当時の琉球政府により島の全域的な21地点を対象に測定された結果で、最大、平均、最低値はそれぞれ3.74、1.95、0.23 mgL^{-1} であった。また近年の数値は、1989年以降、毎月継続的に測定してきた13地点の年総平均値と地点別の最大平均値と最低平均値を示している。

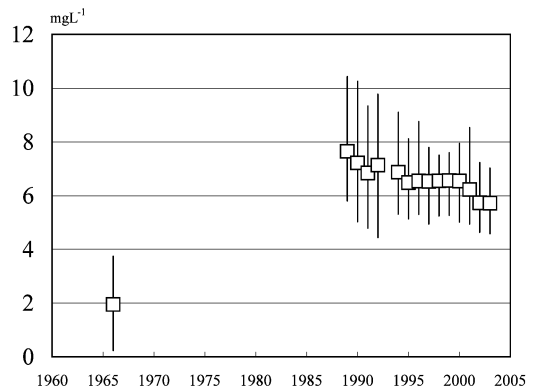


図-4 宮古島の地下水硝酸態窒素濃度の推移

本図に示されているように、同協議会の設立当初は、その数年後には基準値（水道法と環境基本法）の10 mgL^{-1} を超えるような勢いが示されていたが、設立後は低下傾向にある。その低下原因には、同協議会による地域住民への地下水水質保全に関する情報供与や啓発活動等を背景にして、サトウキビへの単位面積当りの施肥量の低下、施肥時期の改善、耕地面積の漸減などが挙げ

表-2 調査地の概要

	単位	宮古島	多良間島	沖縄島南部	喜界島
面積	km^2	158.9	19.7	99.4	56.9
最高標高	m	115	34	160	203
人口	千人	47	1.4	76	9
年平均気温	$^{\circ}\text{C}$	23.4	23.8	22.5	22.4
年降水量	mm	2,000	2,000	2,000	2,200
サトウキビ栽培面積	km^2	58	5.3	36	16.5
家畜飼養数	千頭	14 (牛)	3.4 (牛)	69 (豚)	1.9 (牛)

られる。しかしながら、本地域のうち、次に示す多良間島や宮古島の隣島の伊良部島では、地下水の硝酸態窒素濃度は依然として高いレベルで推移している。

4.2 多良間島

1996～2003年の期間に計5回、不定期に島全域から地下水試料を計87点採取し、ECならびに硝酸態窒素濃度を測定した(中西ら, 2003)。その結果、硝酸態窒素濃度は第1回から順に3.21～11.0, 4.36～13.6, 6.03～12.0, 2.98～13.6, 0.13～16.1 mgL⁻¹の範囲にあり、ほぼ全域で6 mgL⁻¹以上、特に島の中央部で高濃度であることがわかった。他方ECは島の中央部では約0.6～1.1 dSm⁻¹と低く、周縁部では約2～15 dSm⁻¹と高かった。この結果から、地下水への海水の混入率は、島の中央部で1%前後、周縁部で最大30%程度であり、この混入率に応じ、地下水の窒素濃度は希釈されていることがわかった。

4.3 沖縄島南部

沖縄島南部地域の全体的な19地点において、1997年9月から翌年8月までの月1回(第1回調査)と、2004年3月に1回(第2回調査)地下水を採水し、各イオン濃度を測定すると共に、第1回調査では硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ を2～5回測定した(中西ら, 2005)。その結果、硝酸態窒素濃度の範囲と全体平均値は、第1回調査では0.65～16.5と8.71 mgL⁻¹、第2回調査では0.15～16.2と7.78 mgL⁻¹で、10 mgL⁻¹以上の地点が各回共に5地点あった。この結果は本節で示す4地域中、最高レベルである。 $\delta^{15}\text{N}$ は4.64～16.0‰の範囲にあり、調査時期による差はほとんどの地点で認められなかった。人為的な影響の少ない地点の $\delta^{15}\text{N}$ は8.5‰前後であった。また、 $\delta^{15}\text{N}$ とイオン濃度間の相関関係から、地下水に含まれる硝酸態窒素の由来を化学肥料、畜産廃棄物の起源別に地図上に分類し、その結果は土地利用状況をよく反映した。

4.4 喜界島

全島的な18地点から地下水試料を2000年5月から2003年1月までの毎月採取し、各種イオン濃度を測定した(中西, 2003)。その結果、各調査地点の硝酸態窒素濃度の平均値は0.31～7.92 mgL⁻¹の範囲にあり、基準値を超えたのは1地点の3か月間であった。しかし、島唯一の丘陵地の伏流水が湧水する、人為影響のきわめて少ない地点の硝酸態窒素濃度は1 mgL⁻¹前後であったのに対し、特に農地の集積地域では高かった。また硝酸態窒素と硫酸イオンとの相関係数が高い地域では、硝酸態窒素は主として化学肥料中の硫酸に、またナトリウムイオンとの相関係数が高い地域では主にし尿を含む生活廃水に由来すると考えられた。

5. 地下水硝酸態窒素の由来推定

5.1 起源物質の洗脱率の推定

宮古島の地下水流域のうち、独立性が高く、海水の混入が無く、流域を代表する水試料が得られる9流域を選び、重回帰分析により、肥料、家畜ふん尿、生活廃水に含まれる窒素の地下水への洗脱率を推定した(中西ら, 2001)。回帰式において目的変数は、実測された地下水硝酸態窒素濃度から求めた地下水窒素総量とし、説明変数は、各窒素負荷源から各流域の地上へ投入される窒素量とした。

その結果、肥料、家畜ふん尿および生活廃水に含まれる窒素の洗脱率(上記地上投入量のうち、地下水へ負荷される比率)は、それぞれ40.0, 44.1, 68.9%と推定され、これらの統計的危険率は0.3, 8.3および56.5%で、重相関係数は0.872であった。

ここで得られた肥料の洗脱率は、その統計的危険率が極めて低く、速効性の普通高度化成肥料が現状で汎用されていること、また既往の研究結果に比して妥当と考えられた。他方、家畜ふん尿と生活廃水の洗脱率についての結果は、肥料に関する結果ほど高い信頼性が得られなかったが、宮古島の高温・多雨条件、透水性の高い土壌・地質条件、家畜ふん尿の堆肥化率と下水道整備率が低いといった状況から判断すると、ほぼ妥当と判断した。

5.2 窒素安定同位体比法

地下水に含まれる硝酸態窒素が由来する複数の起源物質の各寄与率を、次の連立式を解くことにより推定する方法を考案した(中西ら, 1995)。すなわち、

$$W = X + Y + Z \dots\dots\dots(1)$$

$$aW = bX + cY + dZ \dots\dots\dots(2)$$

ここで、W: 地下水の硝酸態窒素濃度、X: 化学肥料由来の硝酸態窒素濃度、Y: 畜産廃棄物および生活廃水由来の硝酸態窒素濃度、Z: 土壌窒素由来の硝酸態窒素濃度(以上の単位はmgL⁻¹)、a: 地下水の硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 、b: 化学肥料由来の硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 、c: 畜産廃棄物および生活廃水由来の硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 、d: 土壌窒素由来の $\delta^{15}\text{N}$ (以上の単位は‰)とした。Zとdは宮古島で人為影響の無い湧水の値で置き、それぞれ1.4 mgL⁻¹、7.0‰とした。bは化学肥料中の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ と施肥直後のアンモニア揮散を考慮し、値を0とした。cは既往の調査例を参考に15.0‰とした。

以上4つの置きき値と、実測値Wおよびaを式に代入してXとYを求め、またその推定結果を、原単位法による推定結果と比較して本法の有用性を検証した。

その結果、地下水流域を代表する地下水を分析対象と

表-3 宮古島の水道水源流域の地下水への窒素負荷量の推定（中西ら，2001）

地下水流域名	地下水への年間窒素負荷量と寄与率								降水の地下浸透量 (B) (1,000 m ³)	推定窒素濃度 (A/B) (mgL ⁻¹)	
	肥料		家畜ふん尿		生活排水		自然循環				総量 (A)
	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)		
白川田	31.0	48.0	17.9	27.8	4.2	6.5	11.4	17.7	64.5	8,178	7.89
東添道	31.7	50.3	13.8	21.9	4.5	7.1	13.0	20.7	62.9	9,290	6.77
福里	40.5	49.4	16.0	19.5	10.6	12.9	15.0	18.3	82.0	10,719	7.65
合計	103.1	49.2	47.7	22.8	19.2	9.2	39.5	18.8	209.5	28,187	7.43

し、土地利用状況に関する情報を補いつつ推定すれば、本法を地下水硝酸態窒素の起源推定法として利用可能であると考えられた。

5.3 原単位法

宮古島の3つの水道水源地下水流域を対象に、地下水への負荷窒素量と起源別寄与率を推定した（中西・池間，2001）。同島の状況から、起源は肥料Fn、家畜ふん尿Ln、生活廃水Dn及び自然循環窒素Nnの4者とした。これらと地下水への年間窒素負荷量(GWn)と地下水の推定窒素濃度(GWnc)との関係は次式で表されるとした。

$$GWn = aFn + bLn + cDn + Nn \dots\dots\dots(3)$$

$$GWnc = GWn / Rp \dots\dots\dots(4)$$

ここでa, b, c (各起源窒素の洗脱率) について、a, bは上述の5.1の結果からそれぞれ0.40, 0.44とした。cは生活廃水の処理方法に応じ求めた。Rpは、宮古島の年降水量に、降水の地下浸透率0.4と各流域面積を乗じて求めた。

その結果、各流域地下水への窒素の最大負荷源は肥料であり、その寄与率は48.0~50.3%を占めた。次いで家畜ふん尿由来が19.5~27.8%を占め、生活廃水の寄与率は6.5~12.9%、自然循環窒素は17.7~20.7%と推定された(表-3)。

6. 地下水窒素負荷の制御

6.1 サトウキビ施肥の負荷と制御

宮古島の全面積の約4割にサトウキビが栽培され、その栽培型は夏植が9割強を占める現状から、夏植サトウキビ栽培における施肥実態と地下水窒素負荷との関係を検討した(中西，2001)。

その結果、施肥量は1作当たり平均203kg ha^{-1} で、沖縄県の指針量(240kg ha^{-1})等と比較して問題はなかった。ところが、夏植型の栽培期間は約1年半と長期であるのに対し、施肥時期はその初期の8~12月頃に短期集中しており、しかも使用される肥料は速効性の化学肥料がその大半であることが判明した。この施肥実態から、主と

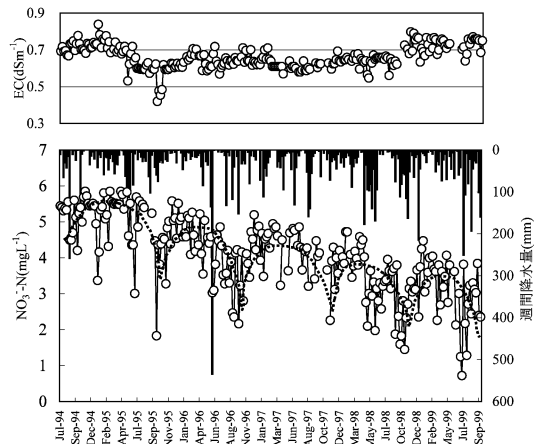


図-5 野城湧水の硝酸態窒素濃度とECの推移（中西，2001）

して栽培初期における過剰施肥分の多くが洗脱され、地下水に負荷されることが予想された。

この予想を裏付けたのが、図-5に示す結果である。同図は宮古島のある湧水の硝酸態窒素濃度を毎週、約5年間計測した結果である。濃度は長期的には漸減しているものの、図中点線で示したように明らかに季節的な変動を示しており、毎年9~10月頃に境に下降から上昇傾向に転じている。この時期は夏植の植付時期にちょうど一致する。またその濃度推移は、月降水量との間に有意な負の相関関係 ($R^2=0.365$) にあり、調査地点付近の降水は1~2か月ほどの時間差で湧水地点に到達することを示している。これらの結果は、栽培初期に短期集中的に施された速効性化学肥料の多くがサトウキビに利用されず、地下水に即時的に負荷を与えていることを明示している。

したがって、地下水への窒素負荷量を低減するにはまず、この施肥方法を改善し、施肥効率を向上させることが当面の対策と考えられた。具体的には、従来の速効性肥料から、既にサトウキビ栽培用に開発された緩効性肥

料に変換することが推奨される。その利用により、施肥効率の向上と地下水への窒素負荷量の低減、ならびに施肥回数の減少化による労働生産性の向上が期待できる。

この手法により、成果をあげつつある例が喜界島である。同島では喜界農業水利事業所、鹿児島県、町役場、農協等の協力により、緩効性肥料への転換を実施しつつあり、その結果、近年地下水の硝酸態窒素濃度は減少傾向にある。

他方、近年、サトウキビは窒素固定能を有する内生細菌と共生していることが明らかになっている (Yoneyama *et al.*, 1997; Asis *et al.*, 2002)。サトウキビの生産性の向上や、肥料由来の地下水負荷量を低減させるためには、固定窒素の寄与の比率や時期、固定能と施肥窒素との関係等を明らかにすることも、新たに施肥体系を構築する上で重要である。

6.2 森林による窒素の吸収除去

宮古島の3つの水道水源地下水流域において、原単位法で求めた地下水硝酸態窒素濃度の推定値と、同濃度を実測した値から (実測/推定) 濃度比を求め、この比と森林率との相関関係を調べた (中西・池間, 2001)。

その結果、(実測/推定) 濃度比と森林率には強い負の相関関係 ($y = -40.23x + 51.77$, $R = 0.980$) が認められた。また森林の窒素吸収除去能は年間 $36.0 \sim 84.4 \text{ kg ha}^{-1}$ と推定された。この結果は、環境へ放出された窒素の一部が、森林に吸収除去されていることを状況証拠的に示している。

宮古島などの低島では、既述したように全域的な土地開発が進展する一方で、代替的に森林面積率が減少してきており、現在森林率は15%である。本研究結果から、地下水への窒素負荷量を低減させるには、森林の保全・再生や緑化事業も重要であることが示唆された。

7. おわりに一地下水水質保全の地域的意義

最後に、ここで対象とした湿潤亜熱帯気候下の石灰岩島嶼地域、すなわち低島における、地下水水質保全に対する地域的意義について考えたい。

冒頭に示したように、低島では通常地下水は唯一の淡水資源であり、飲料原水にもなっている。したがって、地下水水質の劣化は同時に飲料原水の質的低下を意味する。このことのみからしても、同地域における地下水水質の保全は重要課題である。

しかしながら、ここで強調したいのは、硝酸態窒素等により富栄養化された地下水の環境への影響、とりわけ沿岸環境に及ぼす影響である。低島の例えば宮古島などの場合、その地下水は最終的には沿岸海域に流出し、そこにはサンゴ礁生態系が存在する。本生態系は最重要の

地域観光資源であると共に、魚介類など海産物の養成場であり、また地域住民の癒しや憩いの場でもある。

他方、サンゴ礁生態系は本来、熱帯・亜熱帯の貧栄養海域に適応して成立したものである。この適応にはサンゴに共生する藻類の光合成が関係していて、海水の濁り等はその光合成量を減退させる。その生態系に、窒素等により富栄養化された地下水が流入する場合、どのような影響が及ぼされるのか。この問題は、炭酸ガス収支にも関することから、南西諸島を対象とした調査研究の蓄積が待たれるところである。

このように、地下水の環境影響も考慮に入れると、当地域における硝酸態窒素による地下水への負荷対策は、対症療法的な手段、例えば水道水とする時点での浄水といった手段ではなく、できるだけ根治療法的な対策が採られる必要がある。

一方、低島では一般に地下水の滞留時間が短く回転速度が速い。このことは、地上からの汚染物質の影響到達速度の速さを意味すると同時に、地下水水質保全に関する対策効果が短時間で発揮されやすいことを示している。複雑な地下水系、回転速度の遅い地域、汚染物質の越境流入等のある地域と違い、宮古島等の地域は閉塞的であり、かつ因果関係の時間差が短い。このような観点からも、本報で示したような地域を対象とした、農業由来物質の動態や地下水の水質保全等に関する調査研究は、今後も当該地域にとって重要であると共に、同様の問題を抱える地域に対して貴重な示唆を与えるものと考えられる。

引用文献

- Asis, C.A. Jr., Kubota, M., Arima, Y., Ohwaki, Y., Yoneyama, T., Hayashi, N., Nakanishi, Y. and Akao, S. (2002): Estimation of the Nitrogen Fixation by Sugarcane Cultivar NiF-8 Using ^{15}N Dilution and Natural ^{15}N Abundance Techniques. *Soil Sci. and Plant Nutr.* **48**: 283-285.
- 古川博恭 (1981): 九州・沖縄の地下水, p. 393, 九州大学出版会.
- 目崎茂和 (1988): 南島の地形—沖縄の風景を読む, p. 158, 沖縄出版.
- 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態窒素濃度の制御, 日本地下水学会秋季講演要旨, 52-55.
- 中西康博, 山本洋司, 朴 光来, 加藤 茂, 熊澤喜久雄 (1995): $\delta^{15}\text{N}$ 値利用による地下水硝酸起源推定法の考案と検証. *土肥誌*, **66**: 544-551.
- 中西康博 (2001): 沖縄県宮古島におけるサトウキビへ

- の施肥実態と地下水窒素濃度との関係. 土肥誌, **72**: 499-504.
- 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負荷率の重回帰法による推定. 土肥誌, **72**: 365-371.
- 中西康博・池間昌克 (2001): 沖縄県宮古島の水道水源窒素の由来と森林による窒素除去能の推定. 土肥誌, **72**: 372-378.
- 中西康博 (2003): 喜界島における地下水硝酸態窒素濃度の推移. 熱帯農業, **47** (1): 71-72.
- 中西康博・寺尾 宏・池間健晴 (2003): 沖縄県多良間島における地下水 EC・硝酸態窒素濃度の推移と由来. 熱帯農業, **47** (2): 37-38.
- 中西康博・下地美津子・高平兼司 (2005): 沖縄島南部地域の地下水硝酸性窒素濃度と $\delta^{15}\text{N}$ 値. 熱帯農業, **49** (1): 29-30.
- Yoneyama, T., Muraoka, T., Kim, T.H., Decanay, E.V. and Nakanishi, Y. (1997): The natural ^{15}N abundance of sugarcane and neighbouring plants in Brazil, the Philippines and Miyako (Japan). *Plant and Soil*, **189**: 239-244.

要 旨

湿润亜熱帯石灰岩島嶼（わが国南西諸島の低島）における、地下水窒素汚染の発生機構と対策・制御についての研究成果を示すと共に、同地域における地下水水質保全の社会的意義について考察した。主として ①地形・地質的な特性と地下水の涵養機構、②農業に由来する硝酸態窒素の地下水への負荷に関する原理的機構、③沖縄県宮古島、多良間島、沖縄島南部および鹿児島県喜界島の地下水硝酸態窒素濃度モニタリング結果、④地下水に含まれる硝酸態窒素の由来推定に関する成果、⑤サトウキビへの施肥窒素による地下水負荷と制御、⑥森林による地下水硝酸態窒素の吸収除去能、⑦地下水水質とサンゴ礁生態系の保全に関する若干の考察、を示した。

受稿年月日：2005年10月25日

受理年月日：2005年12月21日

中西康博氏講演に関する質疑

谷山一郎（農業環境技術研究所）：

宮古島の地下水硝酸態窒素濃度の低下原因は何か。

中西：

その低減要因は複合的なものがある。一つは施肥窒素量そのものの低減で、この背景にはさとうきび買取価格決定のものさしに、従来の重量に品質（糖度）が加わったことが関係している。収穫期の直前に土壌窒素のレベルが高いと糖度が上がらないため、農家が施肥窒素量を抑えた。もう一つは栽培面積の低下。さらに、施肥時期の変化で、生育中期に追肥することで施肥効率を高めて

いる。また、地下水汚染に関する社会的な啓発も要因として挙げられる。

坂西研二（農業環境技術研究所）：

緩効性肥料を使った喜界島では地下水の硝酸汚染がかなり軽減されたということだが、宮古では緩効性肥料を使っているのか。

中西：

対策面で緩効性肥料を社会的なレベルで使用したのは喜界島のほうが早かった。宮古島で汚染メカニズムや対策の根本的なことが明らかになり、その成果を喜界島に持ち込んで対策面で成功した。現在は、喜界島の成果を宮古島にフィードバックするかたちで対策を進めつつある。