南西諸島の石灰岩島嶼における耕種農業と家畜飼育起源の硝酸態窒素による地下水汚染

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者名	中西,康博
発行元	日本草地学会
巻/号	54巻3号
掲載ページ	p. 280-285
発行年月	2008年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

日草誌 54 (3) : 280-285 (2008)

特　集　—暖地型牧草による自給飼料生産基盤の特性—

南西諸島の石灰岩島嶼における耕種農業と家畜飼育起源の硝酸態窒素による地下水汚染

中西　康博*

東京農業大学宮古亜熱帯農場（906-0103 沖縄県宮古島市城辺字福里 72-2）

受付日：2008 年 5 月 22 日/受理日：2008 年 7 月 18 日

キーワード：サンゴ石灰岩，硝酸態窒素，地下水，南西諸島，農畜産業.

Groundwater Pollution by Nitrates Derived from Farm Cultivation and Livestock on Several Coral Islands in South-west Japan

Yasuhiro Nakanishi*

Miyako Subtropical Farm, Tokyo University of Agriculture,
72-2 Hukusato, Gusukube, Miyakojima, Okinawa 906-0103, Japan

Key words : Agriculture, Coral island, Groundwater, Livestock, Nitrates.

緒　　言

20 世紀初頭に開発されたハーバー・ボッシュ法は，それ以前には，大半が根粒菌等の特殊な窒素固定生物により植物に供給されていた反応性のある窒素化合物を，アンモニアとして工業生産することを可能にした。この画期的な成功は，窒素肥料の生産量を飛躍的に増大させ，同世紀において世界人口を 4 倍増させる原動力となった一方，反応性のある大量の窒素を土壌や湖沼などに放出することとなり，このことが現在，様々な害を引き起こす原因ともなっている。特に集約的なシステムにより濃厚に窒素肥料が施用される地域，例えば米国のコーンベルトや西ヨーロッパ各地では，肥料に由来する硝酸塩が農地から地下水や河川に流出し，飲料水質の悪化と共に，これらが注ぐ湖沼や湾の富栄養化問題をもたらしている（Smil 1997)。

わが国においても，硝酸塩による水質汚染問題は 1970 年代より顕在化してきており，このうち地下水汚染に関することは環境庁（1993）や熊澤（1999）等によってまとめられている。

本報告は，南西諸島の特に低島と称される石灰岩島嶼における地下水硝酸態窒素汚染に関し，その機構，実態，対策等について示したものである。

水理地質条件

南西諸島はその地形により高島と低島に大別される（目崎 1988）が，このうち地下水系の発達が見られるのは，主に低島においてである。低島は琉球石灰岩を主な表層地質とする台地状の地形を呈し，最高標高が 150 m 程度までの低平な島嶼，あるいは地域（例えば沖縄島南部や石垣島中南部を指す。以下，一括して低島という。）で，低島における地下水の涵養機構は次の 3 つに大別される。

第 1 のタイプは不透水ないしは難透水地質基盤を透水性に優れた琉球石灰岩が不整合に覆う島嶼・地域で，宮古島（中西 2007），与那国島，沖縄島と石垣島の中南部および喜界島がその例である。この場合，琉球石灰岩を透過した降水は透水性の極めて低い島尻層群泥岩層に行く手を阻まれ，石灰岩の孔隙中に地下水として涵養される。降水の地下水涵養率は，宮古島（図 1）や喜界島では約 40% と推定されている。

第 2 は，透水性の高い砂層等の地質基盤の上を石灰岩が覆う島嶼で，多良間島，伊良部島，南・北大東島が含まれる。この場合，琉球石灰岩を透過した降水は，高透水性基盤に浸入した海水との比重差により，ガイベン・ヘルツベルグの法則に従い，いわゆる淡水レンズとして石灰岩の孔隙中に地下水が涵養される。降水の地下水涵養率は，多良間島（図 1）では約 58% と推定されている。

第 3 は地質基盤となる古期岩や火山岩の周囲を石灰岩が取り囲む島嶼で，伊江島，竹富島，波照間島，沖永良部島および与論島が含まれる。この場合，同上の法則に従い，島周囲の石灰岩中に地下水が涵養される。

このように，低島では地形が低平であるため，河川が形成

* ynaka@nodai.ac.jp
大要は日本草地学会公開シンポジウム（2006 年 10 月）において発表。本研究の一部は国際農林水産業研究センターのプロジェクト「亜熱帯島嶼における持続的作物生産のための環境管理技術の開発」委託研究費による。

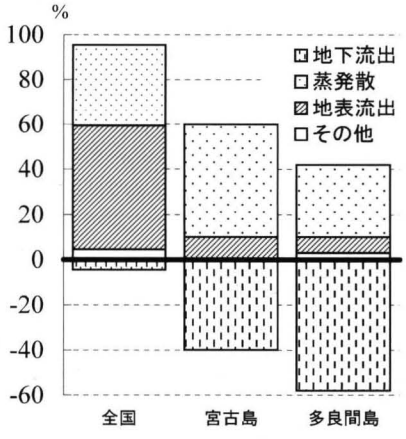

図 1.　全国と宮古島および多良間島の水収支の比較.
注：全国と宮古島のデータは沖縄総合事務局（1997）に，多良間島のデータは沖縄総合事務局（1990）によった.

されにくいが，地下水が地域の一部あるいは全域に涵養され，とりわけ第 1 タイプの地域では，降水の地下浸透量は豊富である。例えば宮古島の場合，2,019 mm の年降水量（1975-2005 年の平均，宮古島地方気象台調べ）の 4 割が地下水になるとすると，単純計算で，島全域での降水の地下浸透総量は年に約 1 億 3 千万トンで，島全域に 4 mm の潅がいを 200 日間行える水量に相当する。

他方，いくつかの低島の地下水流域は，第四期に活動した新しい断層によってブロック化して，小さく分断されている（古川 1981）ため，例えば宮古島の東南部のように閉鎖的で独立性の高い流域は，いわば天然の巨大なライシメータとして，流域内の物質収支や地下水汚染の因果関係等を調査・研究する上で格好の条件を有している。

地下水への硝酸態窒素負荷の基本的機構

上述のように，地下水が涵養される低島では，生活用水を初めとする用水全般をもっぱらこれに依存してきており，その水量はいくつかの地域では極めて豊富である。従って，このような地域では地下水の量的な問題は緊急には生じがたいと考えてよいだろう。しかしながら，地下水の質的な問題に関しては，次のような理由（中西 2007）から，常に監視が必要であると共に，特に硝酸態窒素の負荷を受けやすい。

低島の石灰岩台地や沿岸低地は，地形が平坦であるため全域的に土地開発が進展してきている。一方，これらの地表面は同時に地下水の集水域でもあることから，地下水の水質は，土地利用の状況や生活排水の処理状況等の生活様態に直接的に左右される。実際に，低島の平地の多くはサトウキビ，花卉・野菜・果樹園芸や畜産業に利用される主要な集約的農業地帯となっているため，地下水は，とりわけ営農に起因する物質による負荷を受けやすくなっている。

また次のような機構から，低島の地下水は硝酸態窒素による負荷を受けやすい。まず，窒素が堆肥等の有機態として農地に施用されても，高温多湿な海洋性亜熱帯気候下で微生物による無機化が短期間で進行する。このように生成された，あるいは化学肥料として施用されたアンモニア態窒素は，台地上に発達した好気的な土壌中で速やかに硝酸化成作用を受ける。その結果生じた陰イオンの硝酸イオンは土壌に保持されにくい。加えて，多くの低島の農地土壌では，土層が浅く（30 cm 前後）透水性に優れた礫質暗赤色土の摩文仁統が広く分布するため，土壌中の硝酸イオンは容易に溶脱され地下水に至る。因みに宮古地域（現在の宮古島市と多良間村）の総耕地面積に占める暗赤色土の比率は 90.8% で，そのうち摩文仁統は 63.1% を占める（国土庁 1984）。

地下水への硝酸態窒素負荷実態

低島における地下水硝酸態窒素濃度の上昇は，例えば各地の水道関連行政の資料によると 1970 年代から観測されてきているが，これに関する本格的な調査研究が行われたのは 1980 年代末以降である。関連する主な既往報告には，調査対象とした島嶼・地域を南西諸島の北から示すと，喜界島（中西 2003；中西ら 2003a），沖永良部島（田代・谷山 1994, 1995, 2002），沖縄島南部（中西ら 2005；吉本ら 2007），宮古島（宮古島地下水水質保全対策協議会 1990-2006；山本ら 1995；近藤ら 1997；中西・池間 2001；田代・高平 2001；石田ら 2005），伊良部島（前掲協議会），多良間島（前掲協議会；中西ら 2003b），石垣島（芝野ら 2005；中西ら 2007）がある。

これらの調査例から判断すると，地下水の硝酸汚染が広域的に最も進行しているのは，沖縄県で最も集約的な農畜産業が展開されている沖縄島南部と考えられる。例えば，沖縄島南部の約 99.4 km^2 を対象とした 1997 年 9 月から 1998 年 8 月までの毎月と 2004 年 3 月の 2 期にわたり地下水の硝酸態窒素濃度を調べた結果（中西ら 2005）によると，環境基本法と水道法による基準値 10 mg/L をほぼ恒常的に超えたのは，各期共に調査された 19 地点中 5 地点であった。また最高値は第 1 期が 16.5 mg/L，第 2 期が 16.2 mg/L で，総平均値はそれぞれ 8.71 mg/L と 7.78 mg/L であった。これらの結果は，茶栽培や野菜園芸，酪農が盛んな地域等の状況（熊澤 1999）と比べると，汚染程度はやや軽微であることを示している。

しかしながら，水道原水の一部あるいは全量を地下水に依存し，地下水硝酸態窒素濃度が上昇傾向にある地域では，河川水とのブレンド（例えば，沖縄島南部，石垣島）や逆浸透膜法（例えば，喜界島，伊良部島，多良間島）により硝酸態窒素濃度を低下させて水道水として配水することを余儀なくされている。さらに，後述するように，地下水が最終的に流出する沿岸に発達するサンゴ礁生態系への悪影響等が地域特性的な問題として危惧される。

他方，北部に山岳地形，南部に平坦な石灰岩台地を有する石垣島では，農業に起因する硝酸態窒素の一部は，山岳に端を発する河川を経て沿岸に流出している。表 1 に，地下水の硝酸汚染に関係する諸元について，河川発達のない宮古島と石灰岩台地の谷間を数本の河川が流れる石垣島とを対比して示した。これによると，農地面積と家畜飼養数に開きはあるものの，人為影響による窒素発生総量は石垣島の方が宮古島

表 1.　宮古島と石垣島の比較.

	面積 (km²)	最高地点 (m)	森林率 (%)	人口	農地面積 (ha)	家畜 肉用牛	家畜 豚	農業産出額 (千万円)
宮古島	159.11	113	15.6	49,020	7,117	12,347	824	1,171
石垣島	228.94	526	37.3	45,705	5,460	24,850	5,367	1,037
相対比	1.44	4.65	2.39	0.93	0.77	2.01	6.51	0.89

資料：沖縄県，「宮古概観」，「八重山要覧」，共に平成18年3月.

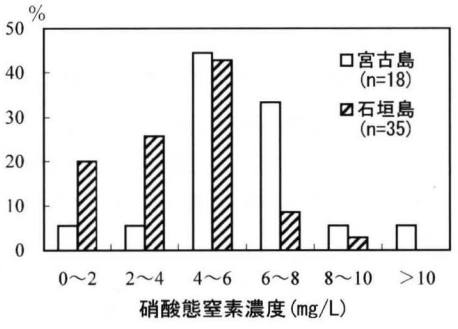

図 2.　宮古島と石垣島における地下水硝酸態窒素濃度の比較（中西ら 2007）.
注：宮古島のデータは2003年1月～2006年12月に，石垣島は2004年8月～2006年11月に計測された値の平均値を用いた.

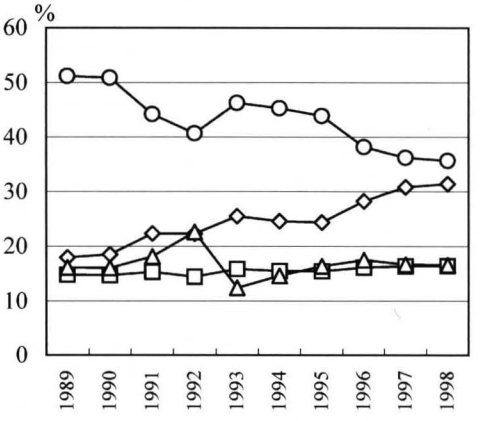

図 3.　原単位法による宮古島の地下水への窒素負荷寄与率の推定（中西 2002）.
—○— 肥料　—◇— 家畜ふん尿
—□— 生活排水　—△— 自然循環

より卓越すると推定される。しかしながら図2に示すように，地下水の硝酸態窒素濃度は両島共に4-6 mg/Lの濃度域の地点が最も多かったが，宮古島ではそれ以上の濃度域の地点が約45%を占めたのに対し，石垣島ではそれ以下の地点が約46%を占め，この点で対照的な結果が示された（中西ら 2007）。このように石垣島のような地域では，主に石灰岩台地で展開される農畜産業に起因する硝酸態窒素の一部は地下水に溶脱されるのではなく，河川経由で海へ流出していると考えられる。

地下水硝酸態窒素の由来

南西諸島の地下水に含まれる硝酸態窒素の起源を推定した報告には，まず窒素安定同位体比を測定した結果を用いた例がある（山本ら 1995；中西ら 1995；近藤ら 1997；中西ら 2005）。

次に原単位法を用いた例として，田代・谷山（2002）は，沖永良部島の中・東部に位置する11地区を対象に推定した。その結果，地下水への窒素負荷量のうち，肥料に起因する割合は44-68%で，同様に，畜産廃棄物13-33%，生活排水10-28%，その他2-9%と推定した。

また中西（2002）は，1989-1998年の宮古島全域を対象として原単位法により推定した（図3）。その結果，1998年において，宮古島の全陸地（約160 km²）に負荷された総窒素量は1,926 tで，そのうち肥料として負荷された比率は44.4%で，同様に家畜ふん尿35.5%，生活排水11.8%，自然循環（酸性降下物を含む）8.3%と試算された。また同年における地下水への窒素負荷量は960 tで，比率は肥料35.6%，家畜ふん尿31.4%，生活排水16.4%，自然循環16.6%と推定された。

以上の例が示すように，硝酸態窒素による地下水汚染が進行している低島では，地下水中窒素の大半が営農に起因するものであり，具体的には，過剰あるいは不適切な時期に施用された肥料と，適切に処理されず野積み等にされる家畜ふん尿に含まれる窒素が主な起源であると考えられる。

耕種農業による負荷と対策指針

南西諸島の低島において，耕種農業に起因する硝酸態窒素による地下水への負荷実態を把握するためには，主幹作物であるサトウキビ栽培農地からの溶脱を評価する必要がある。沖縄県におけるサトウキビの栽培面積は，県内の総耕地面積39,300 haに対し19,700 ha（50.1%，平成17年）を占めている（沖縄県 2008）。

そこで県内サトウキビ栽培面積の約4割を占め，栽培型の大半が夏植えである宮古島を対象に，農家聞き取りにより施肥の量と時期，肥料の種類を調べ，この栽培実態と地下水硝酸態窒素濃度の変化との関係を調べた（中西 2001）。その結果，夏植えサトウキビ栽培における施肥窒素量は1作当り203 kg/haで県の指針量（240 kg/ha）と比べて少なかった。ところが施肥時期は，約18か月にわたる栽培期間の初期5か月ほどに短期集中しており，また使用肥料の主体は水溶性（速効性）肥料であることが判明した。このような施肥方法は，生長初期のサトウキビには過剰で，余剰の窒素分は雨水に洗脱され地下水を汚染することが容易に予想される。

事実，図4に示すように，宮古島の野城湧水では，夏植えサトウキビ植え付け時期の直後から地下水の硝酸態窒素濃度が急上昇することが認められている。また図5は，宮古島に似た営農状況にある喜界島の例であるが，この地点においても地下水の硝酸態窒素濃度の変化は，図4同様，夏植えサトウキビへの施肥時期と連動していることが示されている。

このようなことから，低島において耕種農業に由来する硝酸態窒素による地下水負荷を低減させるには，まず第1にサトウキビ栽培における施肥効率を向上させることが重要と考えられる。具体的には，特に夏植えサトウキビ栽培において，肥料成分が効率的に吸収利用されるよう，栽培期間の中・後期へ施肥時期を移行させることや肥料の種類を緩効性肥料へ切り替える等があげられる。

家畜飼育による負荷と対策指針

低島は一方で肉用牛の繁殖を目的とした畜産の盛んな地域でもある。家畜飼育に起因する窒素が地下水を汚染する経路としては，第1に適切に管理されない家畜ふん尿に含まれる窒素が，雨水等により地下水へ溶脱される場合が考えられる。

表2に宮古地域における肉用牛飼養農家を規模別で示した。これによると，多良間村では全村面積に対し，1.69頭/haまで肉牛の飼養密度が高まっている。このような密度は，家畜ふん尿の農地還元利用等の適正処理を地域内のみで行うことが困難であると推測され，適切な対処がなされない場合，深刻な環境問題を引き起こしかねないレベルと考えられる。

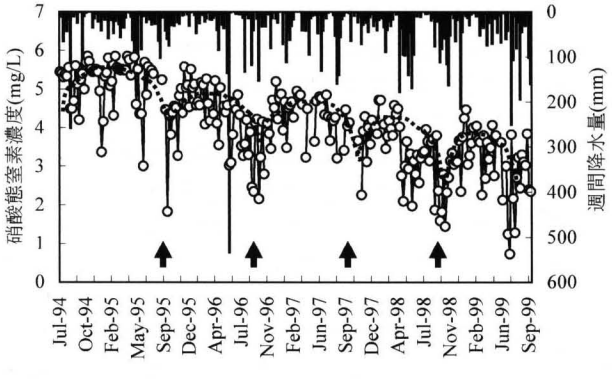

図 4.　宮古島野城湧水の硝酸態窒素濃度の推移（中西 2001 に加筆）.
注：図中の矢印は夏植えサトウキビの植え付け時期を示す.

他方，平成11年に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が施行されたが，例えば宮古島では規制対象外となる農家が多い。宮古島本島部（現在の宮古島市から旧伊良部町を除く地域）では上述した法律の規制外となる10頭未満の飼養規模農家数が67.3%を占める（表2）。家畜ふん尿を起源とする地下水汚染の防止を徹底させるには，これら小規模農家における適正管理や農地還元対策がひとつの課題となろう。

家畜飼育に伴う硝酸態窒素による地下水への負荷の第2の経路は，飼料作物に施される肥料に起因する場合である。近年，南西諸島ではコントラクターの導入・普及により，粗飼料を栽培する農地が増加しており，例えば宮古地域の場合，飼料作物の作付面積は1991年に675 haであったのが2006年には1,048 ha（総耕地面積の8.9%）に達しており，とりわけ多良間村では953 haの耕地面積中，230 ha（24.1%）を占めている（沖縄県宮古支庁 2007）。また温暖な気候条件下で周年的に飼料作物の栽培が可能で，収穫回数に応じた施肥が行われるため，年間の施肥窒素量は一般の畑地に比べかなり高くなっていることが推測される。

表3に，宮古地域において1年間に販売された肥料に含まれる窒素量を計算した結果と，肉用牛から排泄されるふん尿中に含まれる窒素量との対比，ならびに施肥窒素量を示した。これによると，宮古島本島部の施肥窒素量は134 kg/haで，サトウキビ栽培農地が多くを占める実状を反映した値であるのに対し，多良間村ではその1.6倍の214 kg/haとなっている。この状況は，上述した多良間村における飼料作物の作付面積率の高さが関係しているものと思われる。また販売肥料中の窒素量に対する，原単位法で推定された肉牛ふん尿中の窒素量の比率は，多良間村では94.7%に達している。

このように多良間村のような場合には，サトウキビと共に飼料作物に対する施肥効率の向上と，肉用牛ふん尿を堆肥化して，化学肥料に代替するかたちで飼料作物畑等への還元利用を促進することが肝要と考えられる。中西ら（2003b）は，1996-2003年において多良間島の地下水水質を調査した結果から，島中央部の地下水硝酸態窒素濃度は恒常的に10 mg/Lを超している実態を示したが，島周辺部においても，淡水レンズにおける海水希釈率で掛け戻せば本来中央部同等の濃度レベルであることが推測される。

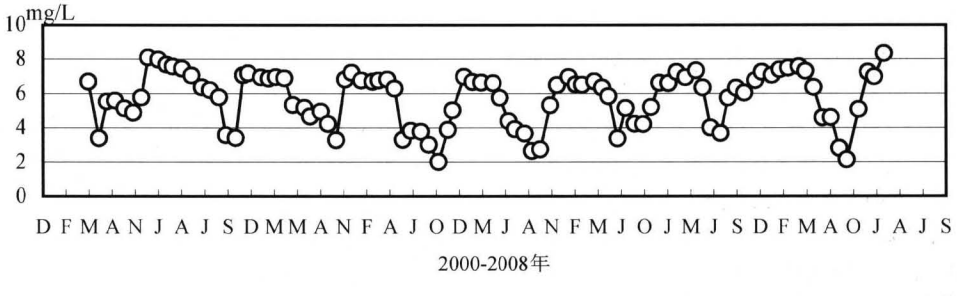

図 5.　喜界島のA地点における地下水硝酸態窒素濃度の推移.

表 2.　宮古地域における肉用牛飼養の規模別状況と飼養密度（平成17年度）.

	農家戸数（戸，%）			飼養頭数（頭，%）			地域面積	飼養密度
	10頭未満	10頭以上	計	10頭未満	10頭以上	計（A）	(ha, B)	(A/B, 頭/ha)
宮古島本島部	757（67.3）	368（32.7）	1,125	3,549（30.4）	8,123（69.6）	11,672	16,515	0.71
旧伊良部町	9（56.3）	7（43.8）	16	58（23.4）	190（76.6）	248	3,859	0.06
多良間村	38（31.7）	82（68.3）	120	216（ 5.8）	3,493（94.2）	3,709	2,190	1.69

資料：沖縄県宮古支庁（2006）をもとに作成.
注：沖縄県全体の飼養密度は0.35頭/ha.

表 3.　宮古地域における肉用牛ふん尿と販売肥料中窒素量の比較（平成17年度）.

	肉用牛（頭）[1]	ふん尿中量 (Nt, A)[2]	肥料中量 (Nt, B)[3]	A/B (%)	施肥窒素量（kg/ha） 対全域	対作付面積
宮古島本島部	11,672	583.6	1,026.5	56.9	62.1	134
旧伊良部町	248	12.4	324.2	3.8	82.7	196
多良間村	3,709	185.5	195.9	94.7	89.4	214

[1] 沖縄県宮古支庁（2006）をもとに作成.
[2] 肉用牛ふん尿中窒素の原単位を50kg/頭/年として求めた.
[3] 宮古島地下水水質保全対策協議会（2007）をもとに作成.

石灰岩島嶼における地下水保全の地域特性

南西諸島の低島において，地下水硝酸態窒素の高濃度化は第1に水道原水の質的な劣化を意味する。このことは地域住民の健康問題に，少なくとも水道原水としての浄化コストに関係することから，地下水の水質保全は重要な地域課題のひとつである。ただし，硝酸塩の飲用による人間の健康被害については，その科学的な実証・根拠がなく，場合によってはかえって健康を促進するという見解も示されている（L'hirondel・L'hirondel 2002）。

しかし，高濃度の硝酸塩を含む地下水が飲料水として不適ではないとしても，このような地下水が引き起こす環境問題は別に扱われる必要がある。

本報告で示した南西諸島を対象とした調査結果によると，人為的な影響がほとんど無いと考えられる地域の地下水中硝酸態窒素濃度は1-2 mg/L程度以下である。したがって現況としては，自然本来に比較して少なくとも数倍程度の硝酸態窒素が地下水等の環境に放出されていることになる。

このように，高濃度に放出された硝酸塩による環境影響が危惧されるが，とりわけ南西諸島では地下水が最終的に流出する沿岸に発達するサンゴ礁生態系への影響が問題となろう。本生態系は本来貧栄養海域に適応すべく，サンゴと共生する褐虫藻による光合成産物を栄養基盤として成立した生態系である。そのような海域に流出する富栄養水は本生態系にどのような影響を及ぼすのか。サンゴ礁生態系は魚場であり，マリンスポーツや憩いの場であり，また大気中炭酸ガスの固定の場でもある。その劣化は甚大な損失である。いずれにしても地下水の汚染は，その流出先の環境にも影響を及ぼすであろうことに注意を払う必要がある。

他方，石灰岩島嶼においては通常，リン酸は地下水から高濃度には検出されない。これは，肥料や家畜ふん尿，生活排水等に含まれるリン酸が地下浸透する際，石灰質の土壌や地質中に豊富に存在するCaイオンと結合してク溶性の$CaHPO_4$か不溶性の$Ca_3(PO_4)_2$という形態で固定されることが原因と考えられる。この点も石灰岩島嶼における地下水環境問題に関わるひとつの特性であろう。

また南西諸島の特に低島では，地表に負荷された物質が溶脱されて地下水に至るまでの時間はきわめて短いと考えられる。この時間差は，土壌や石灰岩の密度や厚さ等に左右されようが，図4-5で見たように，ほぼ即時的な反応を示す地域もある。この特性はまた，小さな島嶼では通常，硝酸態窒素による地下水汚染に関する被害者と加害者は同一であること，そしてその対策効果も早急に現れやすいことを意味している。

総じて地下水に負荷される窒素は，元来は営農上の無駄によって生じている。無駄な時期に無駄な量の肥料を作物に施す。循環させれば地力改善や作物栄養となる家畜ふん尿を無駄に流す。このような無駄を軽減するだけでも，地下水の水質は随分改善されよう。人間活動の中で最も多くの水を消費する農業が，地下水等の水質を悪化させているのは皮肉なことであり，世界的な水不足が予想される昨今において，その修正は喫緊の課題のひとつである。

引　用　文　献

古川博恭（1981）九州・沖縄の地下水，九州大学出版会，福岡，p348
石田　聡・安部栄一・土原健雄・今泉眞之（2005）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．農工研技報 203：111-119
環境庁（1993）硝酸性窒素による地下水汚染対策ハンドブック．公害研究対策センター，p5-37
国土庁（1984）土地分類基本調査，宮古地域．国土調査：沖縄県，p

23-28
近藤洋正・田瀬則雄・平田健正（1997）沖縄県宮古島における地下水中の硝酸性窒素の窒素安定同位体比について．地下水学会誌 39：1-15
熊澤喜久雄（1999）地下水の硝酸態窒素汚染の現況．土肥誌 70：207-213
L'hirondel J, L'hirondel JL (2002) Nitrate and Man : Toxic, Harmless or Beneficial? CAB I Pub, Oxon, p35-68, 84-92
目崎茂和（1988）南東の地形－沖縄の風景を読む．沖縄出版，浦添，p4-5
宮古島地下水水質保全対策協議会（1990-2006）宮古島地下水水質保全調査報告書　平成2年度-平成18年度（全16冊），宮古島市
宮古島地下水水質保全対策協議会（2007）平成18年度 宮古島地下水水質保全調査報告書．p33
中西康博・山本洋司・朴　光来・加藤　茂・熊澤喜久雄（1995）δ^{15}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・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．土肥誌 72：372-378
中西康博（2001）沖縄県宮古島におけるサトウキビ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（2002）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，p103-104
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（別1）：71-72
中西康博・積山忠久・関　政則・本多正好（2003a）鹿児島県喜界島における地下水への窒素負荷とその由来．第66回九農研専門部会発表要旨集：30
中西康博・寺尾　宏・池間健晴（2003b）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 49（別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δ^{15}N 値．熱帯農業 49（別1）：39-40
中西康博（2007）南西諸島における耕種農業・家畜飼育に伴う環境負荷特性．日草九支報 36-2，37-1（合併号）：8-10
中西康博・干川　明・飯泉佳子（2007）南西諸島の低島における水収支と地下水硝酸汚染機構．日本農業気象学会 2007 年春季大会講演要旨：38
沖縄県（2008）沖縄の農林水産業．p13，17，27
沖縄県宮古支庁（2006）宮古の農業．p48-49
沖縄県宮古支庁（2007）宮古の農業．p14，42
沖縄総合事務局（1990）平成元年度広域農業開発基本調査淡水レンズ開発その他業務報告書．p71
沖縄総合事務局（1997）国営宮古土地改良事業概要書．p2
芝野和夫・中西康博・駒田充生・小倉　力（2005）石垣島における陸水水質のモニタリング．第68回九農研専門部会発表要旨集：66
Smil V. (1997) Global population and the nitrogen cycle, Sci Ame July 1997, p76-81
田代　豊・谷山鉄郎（1994）沖永良部島における農業形態と地下水の硝酸態窒素濃度の分布．熱帯農業 38：202-206
田代　豊・谷山鉄郎（1995）沖永良部島のサンゴ石灰岩地域における集約的畑作と地下水硝酸態窒素の動態．熱帯農業 39：82-88
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 24：733-738
田代　豊・谷山鉄郎（2002）奄美群島・沖永良部島における起源別窒素の地下水への負荷率．熱帯農業 46：100-108
山本洋司・朴　光来・中西康博・加藤　茂・熊澤喜久雄（1995）宮古島の地下水中の硝酸態窒素濃度とδ^{15}N 値．土肥誌 66：18-26
吉本周平・土原健雄・石田　聡・今泉眞之（2007）米須地下ダム流域における地下水硝酸性窒素濃度の動態について．農工研技報 206：195-208