

2022年9月18日

【地下水に含まれる硝酸性窒素の起源別割合業務報告書 令和3年3月 沖縄県環境科学センター】  
起源別割合の推計に関する問題点及び分析結果

宮古島地下水研究会 共同代表

前里 和洋 新城 竜一 友利 直樹

エコアイランド宮古島宣言 2.0 では、2050 年度に地下水硝酸性窒素濃度 2.17mg/L 達成を目標としています。現状の宮古島市の地下水硝酸性窒素濃度は、ピーク時に比べ、半減しており基準値の半分以上です。とは言え、全国平均の数倍も高い状態です。現在の値を半減しない限り目標は達成できません。国が策定した「みどりの食料システム戦略」では、2030 年度達成目標を化学肥料使用量 20%減、化学農薬使用量 10%減、有機農業耕作面積 2.5 倍を目標としています。エコアイランド宮古島宣言 2.0 における 2030 年度地下水硝酸性窒素濃度目標値 4.63mg/L は、2018 年時点で既に達成されています。慢性暴露による小児の健康影響の閾値が明らかでない為、予防原則の基づき、地下水硝酸性窒素濃度はできる限り下げるべきです。2030 年度迄、地下水硝酸性窒素濃度を全国平均に近づけるため、現在値を半減するという大きな目標を掲げる必要があります。削減目標値設定および目標実現の施策実行の為には、地下水への硝酸性窒素の起源別負荷量を正確に把握する必要があります。今回、1998 年以来 20 数年ぶりに再評価され詳細な報告がなされました。揭示されている資料を基に、私たち地下水研究会でも検討しました。その結果、現状と乖離した前提条件等に無理があり、グランドデザインの土台となる基礎資料とするには、不十分と考えます。以下に、問題点を列記します。地下水審議会学術部会での詳細な検討を要望します。

【I. 生活排水起源の年間地下水硝酸性窒素負荷量と割合推計】

2018 年度推計年間窒素負荷量 117.4 トン、負荷割合 15.6%は、前提条件に問題があり、過大評価となっている。報告書記載基礎データから算出した推定値と乖離している。積算根拠を明確に示す必要がある。

宮古島市の生活排水処理体制の現状を考慮すると 71.6 トンが妥当である。

報告書 4-11 において、「し尿汲み取り世帯では本来であれば未処理の雑排水のみが放流される。環境省一般廃棄物処理実態調報告に基づき、し尿の収集が極端に少ないと考え、不適正処理の割合を 90%とし、し尿汲み取り槽からの年間 1 人当たりの排水中窒素量を 4.1kg/人/年と規定した。」としている。

このし尿の不適正処理 90%が、宮古島市の現状とは大きく異なっている。図 1. のように、し尿汲み取り槽、単独・合併浄化槽汚泥はほぼ全量が収集運搬され、し尿等投入下水道処理施設に投入される。希釈ののち隣接する下水道処理施設に投入され、適正に処理されている。し尿汲み取り槽 29,649 人のし尿汚泥そして 14,363 人分の合併処理浄化槽し尿汚泥、3,765 人分の単独処理浄化槽し尿汚泥は業者により収集・運搬されし尿等下水道投入施設により希釈等の処理を行った上で、下水道へ投入し、適正に処理されている。窒素負荷量はゼロに近い。従って、土壤に負荷され浸透する窒素は、汲取りし尿計画収集人口 29,649 人の生活雑排水中窒素分、単独処理浄化槽人口 3,765 人分の生活雑排水中窒素分+浄化処理排水中窒素分、合併浄化槽人口 14,363 人の浄化処理排水中窒素分である。

以下に宮古島市の生活排水処理基本計画を示す。

○生活排水処理の状況（宮古島市一般廃棄物処理計画：後期計画）

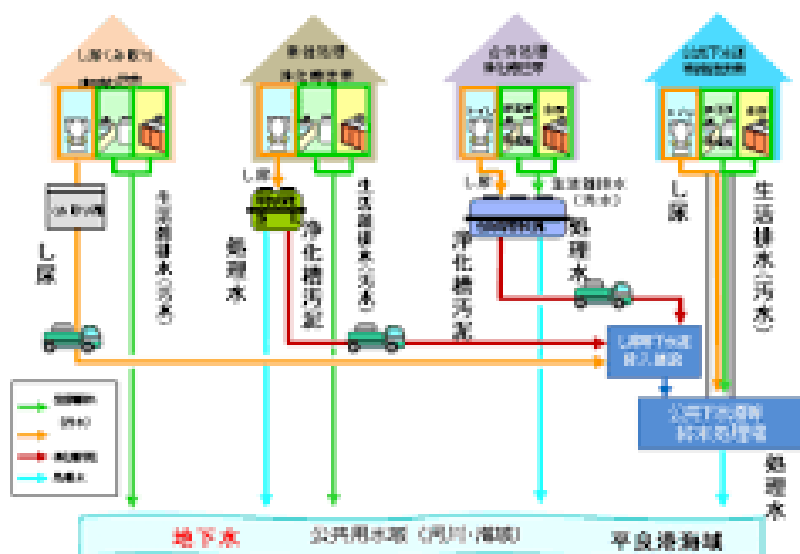
(1) 生活排水処理体制 生活排水は、各家庭の台所や風呂などから排出される生活雑排水と、トイレから排出されるし尿排水とに分けられる。各家庭の台所等より排出される生活雑排水は、合併処理浄化槽世帯については

浄化槽により処理されている。また、公共下水道及び農業・漁業集落排水施設接続世帯については 下水道等により処理施設に運ばれ、適正に処理されている。しかし、し尿くみ取り世帯及び単独処理浄化槽世帯の生活雑排水は未処理のまま公共用水域に放流されており、海域の水質汚濁の原因となっている。

し尿くみ取り世帯から排出されるし尿汚泥、単独処理浄化槽及び合併処理浄化槽世帯から排出されるし尿汚泥は、収集業者等により収集・運搬され、し尿等下水道投入施設により 希釈等の処理を行った上で、下水道へ投入し、適正に処理されている。また、公共下水道 等接続世帯から排出されるし尿は、下水道等により処理施設に運ばれ、適正に処理されている。

図 1.

## ⑥宮古島市の生活排水の処理体制 (2016(平成28)年度現在)



■し尿：大小便を合わせた呼び方である。くみ取り便槽から収集されるものをいう。

■単独処理浄化槽：し尿のみを処理する浄化槽である。生活雑排水は、未処理のまま放流する。2001 年以降は、浄化槽法の改正により、単独処理浄化槽の新設は禁止されている。

■合併処理浄化槽：し尿及び生活雑排水を併せて処理する浄化槽である。一方、し尿のみを処理する浄化槽を単独処理浄化槽という。

■終末処理場：下水処理場ともいう。公共下水道により集水された下水を最終的に処理して公共用水域に放流するための施設である。下水処理の方法 高級処理 計画処理能力 18,900 m<sup>3</sup>/日

■農業集落排水処理施設：農業集落において、し尿及び生活雑排水を併せて処理する施設である。集落内の各家庭からの排水を管渠で集めて集合処理する施設である。

■し尿等下水道投入施設：宮古島市内より収集されたし尿及び浄化槽汚泥は、「し尿等下水道投入施設」へ搬入され、し尿・浄化槽汚泥に含まれる夾雑物(し渣)を除去し、希釈後に隣接する下水道施設へ放流している。尚、希釈水は下水道施設の放流水を利用している。処理能力 55.5kl/日 処理方式 前処理+希釈放流(希釈倍率：20 倍)

宮古島市一般廃棄物処理基本計画(後期計画)による宮古島市公共下水道施設の処理実績(単位:m<sup>3</sup>=トン/年)  
2015 年度全体汚水量 (A+B) 1,357,775 トン=A.下水道区域内 1,125,001 トン、B し尿投入施設 232,774 トン  
し尿等下水道投入施設には、年間には年間約 2 万 3 千 3 百 3 十トンのし尿汚泥が搬入されている。

下水道処理+農業集落排水処理施設処理を除いた汚水処理未処理人口は 4 万 4,964 人であり、1 人 1 日 0.7L の

し尿汚泥量（P.63）とすると1日当たりの汚泥量は約31.5 m<sup>3</sup>となる。年間予測量は11,498 m<sup>3</sup>となる。投入し尿汚泥を20倍に希釈する為、尿処理施設の年間処理実績量は約23万3千m<sup>3</sup>である。

2016年度し尿及び浄化槽汚泥の処理量は、し尿が2kl（m<sup>3</sup>）、浄化槽汚泥が11,107kl（m<sup>3</sup>）、自家処理用は1kl（m<sup>3</sup>）であり殆どが収集・処理されている事を示している。

55頁表3-5, 60頁表3-9によれば、2016年度のし尿汲み取り計画収集人口21,429人で、自家処理人口は30人となっており、し尿汲み取りが計画的に収集されている事を示している。

以上のように、環境科学センターの前提条件は、実情と大きくかけ離れている。

環境科学センターの前提条件で2018年度年間生活排水起源窒素量を計算してみる。（2-11表8）

2018年度総人口：54,478人、

水洗化人口：①公共下水道人口6,701人＋農業集落排水処理2,806人＝9,507人

②合併処理浄化槽人口14,363人、単独処理浄化槽人口3,765人

非水洗化人口（くみ取り槽）：③計画処理人口29,649人（自家処理人口0）

表1. 生活排水由来の窒素負荷量計算に用いた原単位

| 生活排水処理法 | 排水中窒素量（kg/人/年） |
|---------|----------------|
| し尿くみ取り槽 | 4.1            |
| 単独処理浄化槽 | 3.3            |
| 合併処理浄化槽 | 2.4            |

1. 環境科学センター報告書の前提条件で計算する。報告書4-11では、生活排水の溶脱率を公害研究対策センターの設定した溶脱率80～100%の中央値である90%とした。

① し尿汲み取り槽世帯からは、本来であれば未処置の生活雑排水のみが放流されるが、し尿の収集量が極端に少なく適正処理されていないと考えられた為、その不適正処理の割合を90%とした。よってくみ取り槽からの排水中窒素量を $1.1 + 3.3 \times 0.9 \div 4.1$  kg/人/年と設定した。

② 単独処理合併浄化槽からの排水中窒素量は2.2 kg/人/年であるが、単独処理浄化槽世帯からは雑排水が未処理のまま放流される。よって単独処理浄化槽からの窒素排泄量 $2.2 + 1.1 = 3.3$  kg/人/年とした。

③ 合併処理浄化槽ではし尿及び雑排水が処理されその排水中窒素量は2.4 kg/人/年である。

#### 【土壌への生活排水起源窒素負荷量】

① し尿汲み取り処理による窒素負荷量： $29,649 \text{ 人} \times 4.1 \text{ kg/人/年} = 121,561 \text{ kg} \div 121.6 \text{ トン}$

② 単独処理浄化槽処理による窒素負荷量： $3,765 \text{ 人} \times 3.3 \text{ kg/人/年} = 12,424.5 \text{ kg} \div 12.4 \text{ トン}$

③ 合併処理浄化槽処理による窒素負荷量： $14,363 \text{ 人} \times 2.4 \text{ kg/人/年} = 34,471.1 \text{ kg} \div 34.5 \text{ トン}$

④ 合計年間窒素負荷量＝168.5 トン

地下水窒素負荷量＝168.5×溶脱率0.9＝151.6 トン

4-22表3 2018年地下水への生活排水年間窒素負荷量117.4トンに対し、研究会で計算した151.6トンと大きく乖離している。積算根拠を示す必要がある。

いずれにしても、2011年以降汚水処理人口は、年々増加しており、し尿汚泥未収集を90%とした前提条件が間違っており、し尿汲み取り処理による窒素負荷量を過大評価している。

## 2. 環境科学センターの窒素負荷原単位を用いて、実情に即して再検討する。

未処理のし尿窒素量：3.3 kg/人/年、未処理の雑排水中窒素量：1.1 kg/人/年

し尿汲み取り槽 29,649 人のし尿は計画処理により全量そして 14,363 人分の合併処理浄化槽汚泥、3,765 人分の単独処理浄化槽し尿汚泥は業者により収集・運搬されし尿等下水道投入施設により希釈等の処理を行った上で、下水道へ投入し、適正に処理されている。汲取り処理の場合、未処理の生活雑排水に含まれる窒素量は、1.1kg/人・年となる。単独処理浄化槽から排出される窒素量は、未処理の生活雑排水に含まれる窒素分 1.1kg/人・年に加え浄化槽処理排水に含まれる窒素分 2.2kg/人・年、合計 3.3kg/人・年となる。合併処理浄化槽の浄化槽処理排水に含まれる窒素量は、2.4kg/人・年となる。

### 2018年度の生活排水起源の地下水への硝酸性窒素負荷量は

①し尿汲取り槽分=29,649 人×1.1kg/人・年=32.6 トン

②単独処理浄化槽分=3,765×3.3kg/人・年=12.4 トン

③合併処理浄化槽分=14,363 人×2.4kg/人・年=34.5 トン

④合計：79.5 トン

環境科学センターの溶脱率 90%を用いる。

地下水への年間硝酸性窒素負荷量=79.5 トン×0.9=71.6 トンとなる。・・・A

### 【Ⅱ. 家畜ふん尿起源年間地下水硝酸性窒素負荷量と割合推計】

報告書での 2018 年度推計は 149.3 トン、負荷割合 19.9%としている。報告書 4-7 推定値算出の考え方で示している「家畜排せつ物法の管理基準の適用される飼育頭数 10 頭以上の畜産農家から発生した糞尿全量が堆肥化され土壌に投入されるとした。」という前提条件は、宮古島市での家畜ふん尿処理の実態を反映していない。

以前の調査で、家畜排せつ物法により適正処理を行っている飼養農家は、半数に満たないことが、報告されている。堆肥化した家畜し尿の自家農地使用による過剰施肥の問題や、余剰家畜し尿の野積み廃棄などの問題点が、指摘されている。適正処理率 50%と考えると 188 トンとなる。報告書の前提条件では、実態より過小評価されている可能性が高い。耕畜連携による循環型農業を推進するためには、早急に、家畜し尿処理の実態を調査し、そのデータを基に適切な家畜糞尿起源窒素負荷量を算出すべきである。

報告書のデータに沿って分析してみる。

#### 1) 表 2：2018 年度家畜飼養状況 (2-17 表 2-10)

| 肉用牛 (頭) | 馬 (頭) | 豚 (匹) | 山羊 (匹) | 採卵鶏 (羽) | 乳用牛 (頭) |
|---------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 10,590  | 48    | 604   | 813    | 34,240  | 0       |

#### 2) 表 3.：家畜ふん尿由来の負荷量計算に用いた原単位 (4-7 表 4-2-3)

| 畜種  | 糞尿発生量 (t/頭 (羽)/年) | 糞尿中窒素量(kg/頭 (羽)/年) |
|-----|-------------------|--------------------|
| 乳用牛 | 21.5              | 111.5              |
| 肉用牛 | 9.3               | 50.3               |
| 豚   | 2.2               | 12.5               |
| 山羊  | —                 | 19.3               |
| 採卵鶏 | 0.050             | 1.2                |

① 肉用牛から年間糞尿発生量＝10,590 頭×9.3 トン＝98,487 トン

② 豚から年間糞尿発生量＝604×2.2＝1,329 トン

③ 採卵鶏から年間糞尿発生量＝34,240×0.050＝1,712 トン

年間糞尿発生量合計：101,528 トン

④ 年間糞尿中窒素総量：肉用牛 10,590×50.3+豚 604×12.5+採卵鶏 34,240×1.2

＝532.7 トン+7.6 トン+41 トン＝581.3 トン

2018 年度年間地下水窒素負荷量＝581.3（トン）×溶脱率 0.441＝256 トン

以上のように、家畜糞尿年間発生量は約 1 0 万 1500 トンで、全畜産農家が糞尿適正処理を全く行わない場合の、  
土壌から地下水に負荷される年間糞尿中窒素負荷は、約 256 トンとなる。

⑤ 2018 年度宮古島市資源リサイクルセンターに 4,006.8 トンの牛糞及び 415.4 トンの鶏糞、合計 4,422 トンが  
搬入され堆肥に製品化されている。従って土壌に負荷される年間糞尿量は約 9 万 6 千トンとなる。

【牛糞(98,487－4,006.8)＋鶏糞 (1,712－415.4)＝94,480＋1,297＝95,777 トン】

牛糞 4006.8 トンは、肉用牛約 430 頭分に相当する。鶏糞 415.4 トンは採卵鶏 8,300 羽分に相当する。

⑥ 資源リサイクルセンター搬入分を差し引いた年間窒素負荷量は 542 トンである。

牛糞からの年間窒素負荷量＝(10,590－430)×50.3＝10,160×50.3＝511 トン

鶏糞からの年間窒素負荷量＝(34,240－8,300)×1.2＝31 トン

⑦ 溶脱率を 44.1%とすると年間地下水家畜し尿由来窒素量＝542×0.441＝239 トン

資源リサイクルセンターに堆肥原料と搬入された家畜糞尿分を差し引いたうえで、1 0 0 %の家畜飼育農家が  
糞尿の適正処理をせず、野積・素掘り状態を前提とした場合の、年間窒素最大負荷量は 239 トンと推定される。

→**報告書では 253.7 トン**

次に 推計を簡略化する為全家畜飼育数の 9 4 %を占め、少し古いが糞尿処理の実態についてのデータのある  
肉用牛を中心に分析する。

⑧ 家畜飼養数の最新の 2018 年度飼養全頭数 10,590 頭 年間糞尿量 98,487 トン

10 頭以下飼養農家飼養数 1,790(16.9%)、1 0 頭以上飼養農家の飼養数 8800 頭 (83.1%)、

飼育頭数 10 頭以上では「**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**」において野積・素掘が  
禁止されており適正処理を課されている。

本報告書では管理対象から除外されている飼育頭数 10 頭未満の飼養農家からの糞尿排泄処理はすべて野積・  
素掘りによる処理としている。

⑨ 10 頭未満の飼養農家からの年間牛糞量及び窒素負荷量

【計算式 1 野積・素掘り】

土壌への窒素負荷量 (kg/年)×溶脱率＝糞尿中の窒素量 (kg/頭/年)×家畜の飼育頭数×溶脱率

年間牛糞尿量：1,790 (頭)×9.3 (トン)＝16,647 トン

年間窒素量：1,790 (頭)×50.3 (kg)＝90,037kg＝90 トン

年間地下水窒素負荷量：90×0.441 (溶脱率)＝39.7 トン (報告書では 45.3 トン)

1 0 頭以上の飼養農家からの年間牛糞量及び窒素負荷量 (資源リサイクルセンターに 430 頭分搬入も含むと  
仮定)

年間牛糞尿量：(8,800 頭)×9.3 (トン)＝81,840 トン

年間窒素量：(8,800 頭)×50.3(kg)＝442 トン

年間地下水窒素負荷量：(8,800) 頭×50.3(kg)×0.441=195,204kg÷195.2 トン

肉用牛糞尿排泄処理を行わなかった場合の年間地下水硝酸性窒素負荷量合計：234.9 トン

⑩ 今回の報告書では、管理対象となる 10 頭以上飼養からの発生分 81,840 トンは飼育農家により全量が堆肥化され土壌に投入されるとしている。

#### 【計算式 2 「糞尿由来の堆肥化物」】

土壌への窒素負荷量 (kg/年) × 溶脱率 = 堆肥化物中の窒素量 (kg/年) × 溶脱率

= 糞尿発生量 (kg/頭/年) × 家畜の飼育数 (頭) × 堆肥中の窒素含有率 × 堆肥中の水分含有率 × 溶脱率

堆肥化物の溶脱率は 12% (化成肥料溶脱率×30%) とした。

報告書 4-7 表 4-2-4 にて、肉用牛堆肥の全窒素量 2.2%、水分量 52.2%となっている。

2018 年度資源リサイクルセンター搬入牛糞量 4,006.8 トン：430 頭に相当分は、10 頭以上飼養農家由来とする。

肉用牛糞尿堆肥化物由来窒素負荷量 = 9.3 (トン) × 8,800 頭 × 0.022 × 0.522 × 0.12 トン = 112.8 トン

→報告書では 104 トン

報告書の前提条件で計算した全体の 94% を占める肉用牛糞尿由来窒素の地下水への年間負荷量は、39.7+112.8 = 152.5 トンとなる。報告書 4-22 表 4-3-2 で示されている 2018 年度家畜ふん尿起源窒素負荷量 149.3 トンに近似した値となる。飼育頭数 10 頭以上の飼育農家の肉牛飼育頭数は全体の 83.1% を占めており、管理対象農家 350 戸すべてが適正処理の管理基準を満たしているというのが報告書の前提条件である。これは適正処理の実態調査なしでの、仮定と思われる。以下の調査報告から分析すると過小評価の可能性はある。

少し古い家畜糞尿処理の実態報告のレポートを以下に示す。

#### 1) 島嶼地域におけるバイオマスの農業への利活用の可能性 (沖縄農業 第 42 巻 2008 年)

調査した畜産農家 144 戸のうち適正な家畜糞尿処理を行っていない農家は、68 戸で 47% に相当する。野積は 25% を占めていた。半数近くが家畜ふん尿の適正処理を行っていない事を示している。

#### 2) 宮古島市における肉牛糞尿の農地施用の実態把握 (東里 裕 農耕技研報 204 203-210 2006)

イ. 牛糞尿の自家利用：飼育頭数 20 頭未満 80.4%、20 頭以上 50%

牛糞発生量と自家利用可能量を比較したところ 36.2% の飼育農家で、自家利用可能量を大きく上回った。

特に飼養 10 頭以上の飼育農家では 35~45% が自家の農地には還元しきれず過剰施用となっている。

ロ. 牛糞尿自家農地利用の際 57.4% で、牛糞堆肥の過剰使用が疑われ、施用量が基準より 50t/ha より多い。

農家が 27.7% であった。施用基準より 50 トン/ha 多く施用した場合、堆肥に含まれる窒素量は

950kg-N/ha となる。これは、化学肥料による窒素負荷の約 4 倍となる。仮に溶脱率を 15% とすると

145.5-N/ha の窒素が地下水に負荷されることになる。

この調査報告から、家畜糞尿の適正処理が義務付けられている 10 頭以上飼育農家でも約 50% 以上が、適正処理を行っていないことが考えられる。8652 トンの肉用牛糞尿量の半数を自家農地利用とし 50% が野積・素掘りなどで放置されている可能性がある。

従って、飼育頭数 8,800 (頭) × 0.5 = 4,400 (頭) が不適切処理とすると、

年間窒素負荷量 = 4,400 (頭) × 50.3 (Kg/頭) × 0.441 (溶脱率) = 97.6 トン

残りが標準的な堆肥化処理を行ったとし、資源リサイクルセンター搬入分も含むとする。

年間窒素負荷量 = 4,400 (頭) × 9.3 (トン) × 0.022 × 0.522 × 0.12 ÷ 50.4 トン

10 頭未満を加えた合計年間窒素負荷量=97.6+50.4+39.7=187.7 トンとなる。・・・B

報告書での 149.3 トンの比べ 38 トンも多い窒素負荷量となる。

中規模以上の家畜飼育農家から発生する家畜ふん尿は、以前の調査で半数程度しか自家農地での堆肥利用をしていない。自家農地使用の場合も、施用基準を大幅に上回る過剰な施肥が行われていた。処分に困り半数は不適切処理である野積や素掘りで処理されていた可能性がある。一方、耕作農家は、化学肥料による土力の低下、化学肥料価格高騰、地下水硝酸性窒素汚染等から、堆肥等有機肥料への需要が高まっている。余剰糞尿の耕畜連携による利用や、資源リサイクルセンターでの堆肥原料としての大幅な利用を行うことにより、地下水の持続可能な保全と利用につながる循環型農業に進化していくことが可能となる。

以上のように、家畜排泄法適用畜養農家からの家畜糞尿をすべて堆肥化した設定は理想的ではあるが現実とかけ離れており、家畜糞尿の処理実態を反映していない。市は、早急に、家畜糞尿処理の実態を調査し、そのデータを基に適切な家畜糞尿起源窒素負荷量を算出すべきである。実態に即した起源別窒素負荷量・割合でない、目標地下水硝酸性窒素濃度の設定や目標を達成する為の実施策策定は適切に行うことができない。

### 【Ⅲ. 自然循環起源の地下水硝酸性窒素負荷量と割合について】

今回の報告では、2018年度自然循環由来窒素量 180.1 トンとしている。報告書では、調査範囲面積の具体的な数値が明示されていない。常識的に考えて宮古島市の面積とすると、252 トンと算出される。60～70 トンの相違があり、調査範囲面積をどのような基準で設定したか明示すべきである。自然循環由来窒素量に関しては、確立したデータが少ない為、研究会も、180.1 トンを暫定的に採用した。

#### 自然循環由来窒素負荷量

=自然地下水の硝酸性窒素濃度(mg/L)×降水量(mm/年)×調査範囲面積×降水の地下浸透率

自然地下水硝酸性窒素濃度：人為的な影響を受けていないと思われるツガガーの硝酸性窒素濃度 1.48mg/L とした。年間降水量 2022mm、調査範囲面積は記載がない為、宮古島市全域とした。降水の地下浸透率 40% これらに数値で、計算すると、

自然循環由来窒素負荷量=1.48(mg/L)×2022mm(2.02m)×204 km<sup>2</sup> (宮古島市面積) ×0.4=1480g/kl×2.02m×(204×10<sup>3</sup>) m<sup>2</sup>×0.4=1.48kg/kl×(412080kl×0.4)=1.48kg/kl×164,832 kl=243.951kg≒244 トン

自然循環由来年間窒素負荷量は 244 トンと算出される。報告書では、180.1 トンとしており計算が合わない。

宮古島市全体面積でなく、標準地点であるツガガーの位置する宮古島本島 158.93 km<sup>2</sup>にすると、  
1.48kg/kl×2.02 m<sup>2</sup>×(159×10<sup>3</sup>) m<sup>2</sup>×0.4=1.48kg/kl×(321,180×0.4) =1.4kg/kl×128,472kl=178,860kg  
≒179 トンとなる。いずれにしても調査範囲面積をどのような範囲で設定したか数値が不明である。

今回の自然循環由来 180.1 トンの積算根拠を明らかにする必要がある。

もう一つの問題点は、人為的影響のない状態の自然界の硝酸性窒素濃度値である。田代らは、1966年琉球政府企業局が島内21か所での水質検査の結果、硝酸性窒素濃度 0.5mg/L としている(田代豊、水環境学会誌 24 巻 11 号 2001 年)。一方、中西等は、同調査の21か所の硝酸性窒素濃度平均値は 1.95mg/L としている(サンゴの島の地下水保全、94 頁)。溪流水の NO<sub>3</sub>-濃度全国平均値は 0.4 mg N L<sup>-1</sup> とした報告もある(渡辺未来、国立環境研究所)。渡久山等(サンゴの島の地下水保全 98 頁)によれば雨水中硝酸性窒素濃度は 0.03mg/L と報告している。田淵の報告では 0.37mg/L としている。佐竹等によれば、自然起源の窒素量は、人為的起源で供給される窒素量の約3%と推定している。自然循環窒素量に影響するのは、年ごとに変動する降雨量の他に森林面積の変化も負荷量の年変動の要因として考えられる。他にも自然由来として、土壌微生物による窒素固定(大気中の窒素を反応性窒素に変える作用)もある。

自然由来の窒素負荷量については、正確なデータが少ない。従って、20年前に中西等が推定した年間159トンから考え、報告書の180.1トンは現時点で、妥当性があると考えた。

地下水自然循環起源硝酸性窒素負荷量：180.1トン・・・C

#### 【IV.化学肥料起源の年間地下水硝酸性窒素負荷量】

報告書では、2018年度化学肥料起源の硝酸性窒素負荷量を303.5トンとしている。

報告書の記述データと計算式をもとに、2018年度化学肥料起源の地下水への硝酸性窒素窒素負荷量を計算したところ、391トンとなり80トン以上も異なった。平成26年度宮古島市地下水水質保全調査報告書のデータに基づき2013年度の負荷量計算すると、302トンとなった。年間303.5トンは妥当な負荷量と思われるが、データを明示した客観的な積算根拠を示す必要がある。

##### 1. 報告書提示資料を基に算出

【計算式】化学肥料起源の硝酸性窒素負荷量(kg/年)＝土壌への窒素負荷量×溶脱率(0.4)  
＝施肥窒素量(kg/ha/年)×施肥窒素量作物の栽培・作付面積(ha)×溶脱(0.4)

作物により施肥量が異なるため作物ごとに窒素負荷量を算出することとした。負荷量算出に用いる作物は、栽培・作付面積の大きいサトウキビ、野菜、果樹、葉タバコ、飼料作物とした。

作物別の施肥窒素量は、表4-2-1で示す。これをもとに2018年度を計算する。

表4. 2018年度栽培作付面積2-13表2-9と表4-2-1を簡略化

|                   | サトウキビ                            | 野菜                                   | 果樹                   | 葉タバコ                     | 飼料作物                           |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 栽培・作付面積<br>(ha)   | 16,928<br>本島部 5,428<br>伊良部 1,500 | 資料なし<br>2013年 229<br>本島部 111 伊良部 119 | 77                   | 510<br>本島部 467<br>伊良部 43 | 743.6<br>本島部 727.9<br>伊良部 15.8 |
| 施肥窒素量<br>(kg/h/年) | 本島部 114.3<br>伊良部 142.5           | 本島部 156.2<br>伊良部 194.6               | 本島部 63.5<br>伊良部 79.1 | 本島部 63.5<br>伊良部 79.1     | 本島部 185.3<br>伊良部 230.8         |

#### 【化学肥料起源の窒素負荷量＝421トン】：宮古島市全体として計算

$$[(5,428 \times 114.3 + 1,500 \times 142.5) + (111 \times 156.2 + 119 \times 194.6) + (77 \times 63.5) + (467 \times 63.5 + 43 \times 79.1) + (727.9 \times 185.3 + 15.8 \times 230.8)] \times 0.4 = (620,420 + 213,750) + (17,338 + 23,157) + 4,890 + (29,655 + 3,401) + (135,084 + 3647) \times 0.4 = (834,170 + 40,495 + 4,890 + 33,056 + 138,731) \times 0.4 = 1,051,342\text{kg} \times 0.4 = 4,205,368\text{kg} \div 10 = 421\text{トン}$$

緩効性肥料は溶脱率を化成肥料の50%の0.2と規定。

化成肥料と緩効性肥料の使用割合は、表4-2-2を参照した。

#### 【補正化学肥料起源の窒素負荷量＝391トン】：宮古島本島部と伊良部に分けて計算

##### ①本島分化成肥料起源窒素量

$$= (620,420 + 17,338 + 4,890 + 29,655 + 135,084) \times 0.855 \times \text{溶脱率 } 0.4 = 807,387 \times 0.855 \times 0.4 = 276,126\text{kg}$$

##### ②本島分緩効性肥料起源窒素量

$$= (620,420 + 17,338 + 4,890 + 29,655 + 135,084) \times 0.145 \times \text{溶脱率 } 0.2 = 807,387 \times 0.145 \times 0.2 = 23,414\text{kg}$$

③伊良部化成肥料起源窒素量

$$= (213,750 + 23,157 + 0 + 3,401 + 3647) \times 0.878 \times 0.4 = 243,955 \times 0.878 \times 0.4 = 85,677\text{kg}$$

⑤ 伊良部緩効性肥料由来窒素量 =  $243,955 \times 0.122 \times 0.2 = 5953\text{kg}$

合計 =  $276,126 + 23,414 + 85,677 + 5,953 = 391,170\text{kg} \div 391 \text{ トン}$

表 4-3-2 で示している 2018 年度肥料由来窒素負荷量 303.5 トンと乖離している。積算根拠をきちんと示す必要がある。

平成 26 年度宮古島地下水水質保全調査報告書 1 2 1 ページ 表 5-9-1 をもとに平成 2 5 年度化学肥料由来窒素総量（多良間村を除いた宮古島市）は、年間 7 4 9 トン

化学肥料由来地下水窒素負荷量 =  $749 \text{ トン} \times \text{溶脱率 } 0.4 = 299.6 \text{ トン}$ と概算できる。

更に詳しく検討してみる。

報告書 4-6-2 に沿って、2 0 1 4 年の高度化成肥料と緩効性肥料の比率をそれぞれ 9 4 % と 6 % とする。

化成肥料由来窒素 =  $749 \text{ トン} \times 0.94 \times 0.4 \text{ (溶脱率)} = 732.26 \times 0.4 = 281.6 \text{ トン}$

緩効性肥料由来窒素量 =  $749 \times 0.06 \times 0.2 \text{ (溶脱率)} = 46.74 \times 0.2 = 9.0 \text{ トン}$

合計は、290.6 トンとなる。

算出根拠が明確でない点があるが、報告書の 303.5 トンは妥当な値と考えた。・・・D

以上より、これまでの分析から妥当性のある数値を用いると、起源別年間地下水硝酸性窒素負荷量は、743.6 トンとなる。

化学肥料起源年間地下水硝酸性窒素負荷量  $\div 304 \text{ トン} \dots \text{D}$

自然循環由来地下水硝酸性窒素負荷量  $\div 180 \text{ トン} \dots \text{C}$

生活排水起源地下水硝酸性窒素負荷量  $\div 71.6 \text{ トン} \dots \text{A}$

家畜し尿起源地下水硝酸性窒素負荷量  $\div 188 \text{ トン} \dots \text{B}$

合計 743.6 トン → (報告書 750.2 トン)

表 5. 起源別窒素負荷量および負荷率

| 負荷起源   | 2018 年度報告書 |         | 研究会再検討   |         |
|--------|------------|---------|----------|---------|
|        | 負荷量 (トン)   | 負荷率 (%) | 負荷量 (トン) | 負荷率 (%) |
| 肥料起源   | 303.5      | 40.4    | 304      | 40.9    |
| 家畜糞尿起源 | 149.3      | 19.9    | 188      | 25.3    |
| 生活排水起源 | 117.4      | 15.6    | 71.6     | 9.7     |
| 自然循環起源 | 180.1      | 24.0    | 180      | 24.2    |
| 合計     | 750.3      | 100     | 743.6    | 100%    |

報告書のデータは、家畜糞尿起源は過小評価、生活排水起源は過大評価となっている。

農業由来の窒素負荷の割合は、図 2, 図 3 で示すように報告書で 60.3%、研究会 66.2%となる。いずれにしても農業起源窒素負荷大きな比重を占めている。化学肥料の使用量、家畜飼育頭数減少による家畜糞尿量は、絶対量としては年々減少している。一方生活排水起源窒素は、下水道処理や農漁村集落排水処理の拡大、合併処理浄化槽の普及、し尿汚泥の計画的し尿等下水道投入施設処理により大幅に減少している。

年間地下水硝酸性窒素負荷量 744 トンの場合、2018 年度推定地下水硝酸性窒素濃度は、4.51mg/L と算出

される。

地下水硝酸性窒素濃度 =  $744 \times 10^9 \text{mg} \div 2.02 \text{m} \times (204 \times 10^3) \text{m}^2 \times 0.4 = 4.51 \text{mg/L}$

実測値 4.65mg/L に近似した予測値となった。

図 2. 起源別年間窒素負荷の割合：

環境科学センター

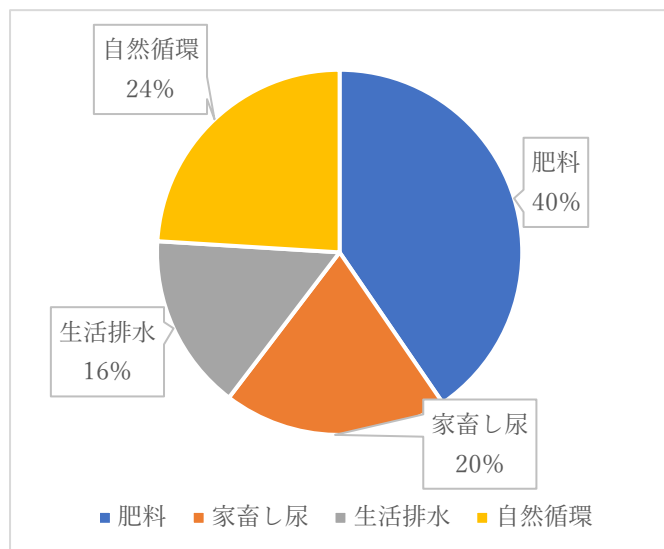
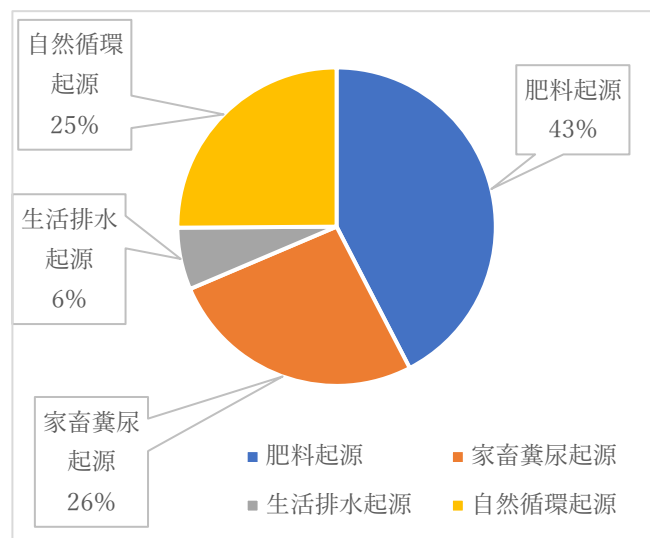


図 3. 起源別年間窒素負荷の割合

地下水研究会



### 【今後 10 年で地下水硝酸性窒素濃度目標値 2.17mg/L を達成するための戦略】

宮古島市面積：204 km<sup>2</sup>、年間平均降水量 2088mm、雨水の地下水への浸透率 40% とする。

地下水浸透量 =  $2.09 \text{m} \times 204 \times 10^6 \text{m}^2 \times 0.4 = 170,544 \times 10^6 \text{L}$

窒素負荷量 = 硝酸性窒素負荷量 硝酸性窒素値 2.17mg/L  $\times 17,054 \times 10^6 \text{L} = 370,080 \text{kg} \approx 370 \text{トン}$

① エコアイランド推進計画目標値 2.17mg/L を達成するためには、年間地下水硝酸性窒素負荷量を約 370 トンにする。

② 年間硝酸性窒素負荷量を現在の 744 トンから 374 トンと半分に減らす必要がある。

③ 自然循環由来窒素：降水量や森林面積等に依存し人為的コントロールは難しい。

④ 生活排水由来：県のちゅら水プランに合わせて宮古島市の整備目標として、2025 年度迄、公共下水道整備人口 13,227 人、農漁村集落排水整備人口 3,837 人、合計 17,064 人としている。報告書の 9,507 人に対し 7,557 人の増加となり、生活排水由来窒素削減量は年間  $4.3 \text{kg} \times 7,557 \text{人} = 32.5 \text{トン}$  の削減効果となる。

窒素負荷量は、現在の 72 トンから 39.5 トンと大幅に減少する。

⑥ 目標を達成するためには化学肥料由来および家畜し尿由来硝酸性窒素負荷量を  $370 - 39.5 - 180 = 150.5 \text{トン}$  迄減らす必要がある。非常に厳しいが、肥料起源の窒素負荷を現在の 300 トンから 95% 減少させると、負荷量は 15 トンとなる。報告書で示したように家畜し尿の適切処理管理対象となる家畜糞尿約 10 万トンをすべて堆肥化すれば家畜し尿起源硝酸性窒素量は約 140 トン、両者を合わせると 155 トンとなる。森林の窒素吸収・除去能力は 1 ヘクタール当たり 36~84kg と言われている。年 5 ヘクタールの植林を行えば、10 年後の森林の窒素除去能力は、最大 4.3 トンとなり、窒素負荷総量は、合計約 150.7 トンとなる。最善の理想的シナリオをもってして、10 年で目標が何とか達成可能となる。目標値達成の鍵は、化学肥料から有機肥料への速やかな転換である。すなわち家畜糞尿全量堆肥化による耕畜連携による循環型有機農業の完成によってのみ道は開ける。

具体的な方策を示す。年間家畜糞尿量約 10 万トンのうち適正処理対象農家排出分 8 万トンである。適正処理

率を 80%まで上げる適正に処理作成した堆肥 6.4 万トンは自家耕作地に適切な量の施肥を行い、余剰分は耕作農家に販売する。残りの 1 万 6000 トンと適正処理対象とならない 10 頭未満畜養農家由来の約 2 万トン、合計 3 万 600 トンは資源リサイクルセンターに搬入し、有機堆肥化し、化学肥料の代わりに島内耕作農家にインセンティブをつけて販売する。更に窒素負荷の主因である化学肥料使用量の減量につながるバイオ・リンの生産拡大による島内利用の推進および全国展開で販売する。以上により、耕作農家と畜産農家のミスマッチは解消され耕畜連携循環型農業が完成し、化学肥料から有機肥料への転換により国の「みどりの食料システム戦略」の目標達成が可能となる。合わせて、地下水中硝酸性窒素濃度は、半減し持続可能な地下水の保全と利用の道筋がつけられる。令和 3 年度エコアイランド推進計画フォローアップによると、残念ながら、目標達成の為の施策の中で現在最も対策が遅れているのが畜産業への対策です。全飼育頭数の約 8 割を占める 10 頭以上飼養畜産農家には、家畜排泄物法により堆肥盤等の設置による家畜排せつ物の適正管理基準が適応されます。家畜飼養農家の家畜排せつ物適正処理の実態を把握するのが重要にも関わらず、畜産課はいまだ取り組んでいません。家畜排せつ物の適正管理対策として堆肥盤の設置に対し補助金（50 万円）を交付し、地下水の保全を図るとしています。予算額が 1~2 件等の設置費用に満たない少額であり、しかも令和 3 年度は設置実績なしという燦燦たる結果です。**適正処理による堆肥化を進めていくという行政の熱意が感じられません。**適正管理対象となる約 350 戸の家畜排せつ物全量を堆肥化するという前提を立てている環境科学センターの見積もりは、理想的ですがあまりにも非現実的な側面もあります。畜産課は早急に、家畜糞尿処理の実態調査を行い、対策を強力に進めていく必要があります。

目標よりもさらに地下水硝酸性窒素を減らすためには、植林による森林面積の回復です。森林の窒素吸収・除去能力は 1 ヘクタール当たり 36~84kg と言われています。年 5 ヘクタールの植林を行えば、10 年後の森林の窒素除去能力は、最大 4.3 トンとなります。これは硝酸性窒素濃度 0.024mg/L に相当します。年 5 ヘクタールの植林を 50 年続ければ、理論上は地下水硝酸性窒素濃度を 1.2mg/L 減らすことが可能です。50 年後の地下水**硝酸性窒素濃度 0.97mg/L**も夢ではありません。みどり推進課では、毎年着実に人工造林（新植）を、行っており令和 3 年度は 2.5 ヘクタールの実績があります。これを倍増すると上記目標を達成できます。