

# 原単位法を用いた沖縄島西海岸における 窒素及びリンの陸域負荷推計 (第2報) \*

糸洲昌子・友寄喜貴・座間味佳孝・比嘉彩也香

## Estimation of Nitrogen and Phosphorus Runoff on the West Coast of Okinawa Island using the Environmental Load Unit Method (Part 2) \*

Shoko ITOSU, Nobutaka TOMOYOSE, Yoshitaka ZAMAMI and Sayaka HIGA

**要旨：**気候変動による海水温上昇やオニヒトデの大量発生、陸域からの赤土等をはじめとする汚濁物質による影響により、本県の特異性の一つである豊かなサンゴ礁生態系の衰退が懸念されている。窒素及びリンの汚濁負荷はオニヒトデ幼生の生残率を高める要因として植物プランクトンの多寡へ影響を与える一要因であるだけでなく、海域底質中に蓄積されたリン酸が稚サンゴの骨格形成を阻害することも近年確認されている。本報では、既報<sup>2)</sup>と同様に原単位法を用いて沖縄島西海岸の陸域負荷の推計を、対象流域を拡大して行った。その結果、中北部地域では都市化した中南部地域と比較して陸域負荷量が低い傾向にあった。またその内訳は、中南部地域と比較すると面源系負荷の割合が相対的に高い傾向にあり、特に多雨時期にはその割合が高まることが推定された。中北部西海岸は沖縄海岸国定公園にも指定されており、水産業や観光資源としてのサンゴ礁生態系の重要性も高いことから、面源系負荷対策も重要であると考えられた。

**Key words：**オニヒトデ、サンゴ、陸域負荷、窒素、リン、原単位法

### I はじめに

#### 1. 背景と目的

本県は豊かなサンゴ礁生態系を有しており、その生態系サービスは漁業や観光、防災など、私たちに様々な恩恵をもたらしている。当該生態系を保全することは本県の特異性を保持するために重要である。しかしながら、地球規模の気候変動による海水温上昇やオニヒトデの大量発生、陸域からの赤土等をはじめとする汚濁物質による影響により、当該生態系の衰退が懸念されており、これらの対策を講ずることは喫緊の課題となっている。

陸域から海域へ流出する窒素及びリンの汚濁負荷はオニヒトデ浮遊幼生期の生残率を高める植物プランクトンの多寡に影響を与える一要因であるだけでなく、最近では海域底質中に蓄積されたリン酸が稚サンゴの骨格形成を阻害することが確認されている<sup>1)</sup>。

第1報<sup>2)</sup>では沖縄島西海岸の6流域を対象として原単位法による負荷量の推計を行った。その結果、推計した負荷量は接続した河川や海域の水質結果と類似の傾向が見られ、当該手法により各流域からの負荷源を定性的に把握することは可能と考えられた。そこで本報では推計範囲を18流域に増やし、また畑地の原単位の見直しを行い、各流域の負荷源の特徴や降雨による影響等について

検討した。

#### 2. 原単位法について

原単位法とは、陸域から発生する汚濁負荷量について、それぞれの負荷源毎に既存の研究や調査などを基にして算出された負荷量原単位を積み上げていくことによって、対象陸域から排出される負荷量を推計する手法である。

今回の手法も本報第1報と同様に主な負荷発生源である、人、産業、畜産、土地利用に関する情報を統計データ等から収集し、既存の資料から引用した数値を用いて、窒素及びリンの負荷量を推計した。

### II 方法

#### 1. 負荷量推計流域の選定及び流入負荷の分類

市街化が進んでいる中南部からオニヒトデの発生が確認されている恩納村までの河川流域を対象に、沖縄島西海岸を18流域に分けた(図1)。また選定流域の土地利用状況及び人口は図2のとおりである。

\* 本研究は沖縄県自然保護課・オニヒトデ対策普及促進事業費によって調査したものである。

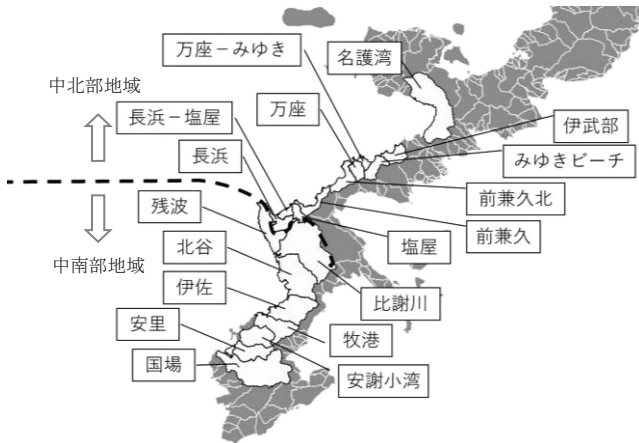


図1. 負荷量推計選定流域の位置.

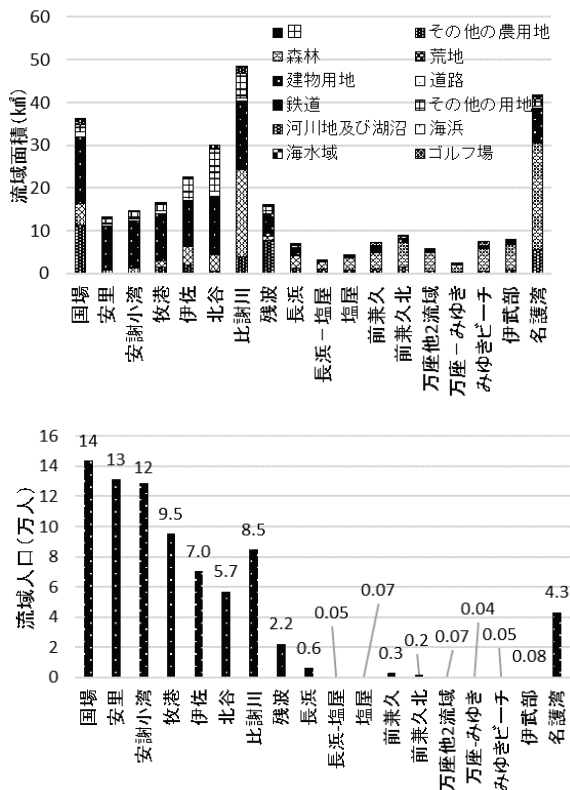


図2. 推計流域の概況. (A)は土地利用状況を示し, (B)は流域人口を示す. ((A)は国土交通省土地利用細分メッシュデータ<sup>3)</sup>, (B)は2015年国勢調査人口メッシュデータ<sup>4)</sup>を基に作成).

2. ソフトウェア及びデータ

ソフトウェアは、日本スーパーマップ株式会社製スーパーマップ、Google社製 Google Earth pro、Microsoft社製 Excelを用いた。

Shape形式で情報を集約し、スーパーマップを用いてレイヤー化して流域を切り取るにより情報を抽出した。抽出した情報は Excelを用いて集計した。事業場などの住所情報は Google Earth proを用いて KML形式で出力し、

Shape形式へ変換して使用した。収集したデータの一覧は表1のとおりである。

表1. 収集データ一覧.

収集情報	データ名	発行元
流域図	赤土等流出危険度予測評価システム	沖縄県環境保全課
生活系負荷	2015年国勢調査人口メッシュデータ (500m×500m) <sup>4)</sup>	総務省統計局
	平成29年度末沖縄県市町村別汚水処理施設整備状況 <sup>5)</sup>	沖縄県下水道課
事業系負荷	特定施設台帳	沖縄県環境保全課
	平成29年度沖縄県流域下水道維持管理年報 <sup>6)</sup>	沖縄県下水道事務所
	平成29年度水質汚濁物質量総合調査 <sup>7)</sup>	環境省
畜産系負荷	2015年農林業センサス家畜飼養数 <sup>8)</sup>	沖縄県統計課
	流域下水道整備総合計画調査 指針と解説 <sup>9)</sup>	国土交通省
面源系負荷	土地利用細分メッシュデータ (100m×100m) <sup>3)</sup>	国土交通省
	流域下水道整備総合計画調査 指針と解説 <sup>9)</sup>	国土交通省

3. 推計方法

陸域負荷については、生活系負荷 (浄化槽のみ)、事業系負荷、畜産系負荷などを点源負荷とし、山林、水田、畑地、市街地などの非特定汚染源から発生する負荷を面源系負荷として推計した (図3)。また、各負荷の推計方法は既報<sup>2)</sup>と同様の手法で算出した。

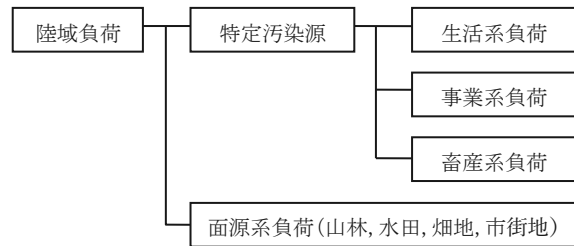


図3. 本報における陸域負荷推計の系統.

(1) 生活系負荷

生活系負荷は下水道設備に接続していない一般家庭からの合併浄化槽及び単独浄化槽からの負荷である。生活系負荷の算出に用いた式及び数値は式(1)~(5)、表2~4のとおりである。

単独浄化槽 (汲取り及び未処理含む) 率 (%)

$$= 1 - \left( \frac{\text{下水道接続人口} + \text{農業集落排水接続人口} + \text{漁業集落排水接続人口} + \text{合併浄化槽処理人口}}{\text{行政人口}} \right) \dots (1)$$

流域内浄化槽人口 (人)

$$= \sum (\text{流域内市町村人口} \times \text{市町村浄化槽人口率}) \dots (2)$$

表 2. 流域人口及び浄化槽処理人口率から推計した合併浄化槽人口及び単独浄化槽処理人口（汲取り及び未処理含む）.

	合併浄化槽（人）	単独浄化槽（人）※
国場	10,654	31,318
安里	745	8,382
安謝小湾	602	8,350
牧港	7,356	16,929
伊佐	2,229	17,950
北谷	851	8,447
比謝川	5,390	15,295
残波	8,537	10,268
長浜	2,355	2,832
長浜一塩屋	188	226
塩屋	235	272
前兼久	1,019	1,182
前兼久北	747	866
万座	264	306
万座一みゆき	127	147
みゆき	167	194
伊武部	294	341
名護湾	3,507	13,942

※汲取り式及び未処理含む.

表 3. 生活系排水に関わる原単位と除去率<sup>10)</sup>.

項目	種類	T-N	T-P
原単位 (g/人・日)	雑排水	1.5	0.3
	し尿	7.0	0.7
除去率 (%)	単独処理浄化槽	15	5
	合併処理浄化槽	18	12

$$\text{単独処理浄化槽原単位 (g/人・日)} = \text{し尿原単位} \times (1 - \text{除去率}) + \text{雑排水原単位} \quad \dots(3)$$

$$\text{合併処理浄化槽原単位 (g/人・日)} = (\text{し尿原単位} + \text{雑排水原単位}) \times (1 - \text{除去率}) \quad \dots(4)$$

表 4. 単独処理浄化槽原単位及び合併処理浄化槽原単位.

種類	T-N(g/人・日)	T-P(g/人・日)
単独処理浄化槽原単位	7.5	0.97
合併処理浄化槽原単位	7.0	0.88

$$\text{生活系負荷 (kg/日)} =$$

$$\Sigma \{ \text{流域内市町村人口 (合併浄化槽処理率} \times \text{原単位} + \text{単独浄化槽処理率} \times \text{原単位)} \} \quad \dots(5)$$

(2) 事業系負荷

事業系負荷は事業所から公共用水域に排出される負荷である. 事業系負荷の算出に用いた式及び数値は, 式(6), 表 5 のとおりである.

$$\text{事業系負荷 (kg/日)} =$$

$$\Sigma (\text{平均日水量} \times \text{事業場排水水質平均値}) \quad \dots(6)$$

表 5. 特定施設別の全窒素及び全リンの平均値 (抜粋).

施設番号	施設名称	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	出典
2	畜産食料品製造業の用に供する施設	11	2.7	※1
3	水産食料品製造業の用に供する施設	18	3.2	※1
9	米菓製造業又は工事製造業の用に今日する洗米機	4.4	4.7	※1
11	動物系飼料又は有機質肥料の製造業の用に供する施設	20	2.3	※1
20	洗毛業の用に供する施設	14	2.7	※1
68-2	病院（医療法第1条の5第1項に規定し、患者20人以上の収容施設を有するもの）で病床数が300以上であるものに設置される施設	11	1.8	※1
69	と畜業又は死亡獣畜取扱業の用に供する解体施設	16	2.8	※1
71	自動式車両洗浄施設	27	4.3	※1
71-5	トリクロエチレン、テトラクロエチレン又はジクロロメタンによる洗浄施設	16	1.4	※1
73	下水道終末処理施設	16	1.1	※2

※1: 平成 29 年度水質汚濁物質排出量総合調査データ (環境省) 7).

※2: 当所測定平均値.

(3) 畜産系負荷

畜産系負荷は飼養家畜から排出される負荷である. 畜産系負荷の算出に用いた式及び数値は, 式(7), 表 6 のと

おりである。

表 6. 飼養家畜別原単位.

種類	T-N (g/頭・日)	T-P (g/頭・日)
牛	27.1	1.37
豚	5.20	2.52
鶏	0.110	0.0010

家畜系負荷 (kg/日) =

$$\Sigma ( \text{牛飼養数} \times \text{牛原単位} + \text{豚飼養数} \times \text{豚原単位} + \text{鳥飼養数} \times \text{鳥原単位} ) \times \text{流域内市町村面積} / \text{市町村面積} \dots(7)$$

(4) 面源系負荷 (山林, 水田, 畑地, 市街地等)

面源系負荷は山林, 水田, 畑地, 市街地などから面的に発生する負荷のことである. 面源系負荷の算出に用いた式及び数値は, 式(8), 表7のとおりである. またその他農用地について, 既報<sup>2)</sup>では畑の全国平均値の原単位を用いていたが, 本県の地域性を考慮して農地利用が大部分である石垣島轟川流域における調査結果<sup>1)</sup>を参照し,

今回見直しを行った.

表 7. 各土地利用細分の原単位.

土地利用細分	分類	原単位 (kg / ha・年)	
		T-N	T-P
森林, 荒地	山林	4.9	0.3
田	水田	10.6	1.41
その他農用地	畑 (沖縄) ※1	58	5.3
ゴルフ場	畑 (全国) ※2	100.4	1.28
建物用地, 道路, 鉄道, その他の用地	市街地	16.2	1.9

※1: 仲宗根らの報告書<sup>1)</sup>

※2: 流域下水道整備総合計画調査 指針と解説<sup>9)</sup>

面源系負荷 (kg/日) =

$$\{ (\text{森林面積} + \text{荒地面積}) \times \text{山林原単位} + \text{田面積} \times \text{水田原単位} + \text{その他農用地面積} \times \text{畑(沖縄)原単位} + \text{ゴルフ場面積} \times \text{畑(全国)原単位} + (\text{建物用地面積} + \text{道路面積} + \text{鉄道路面積} + \text{その他の用地面積}) \times \text{市街地原単位} \} / 365 \dots(8)$$

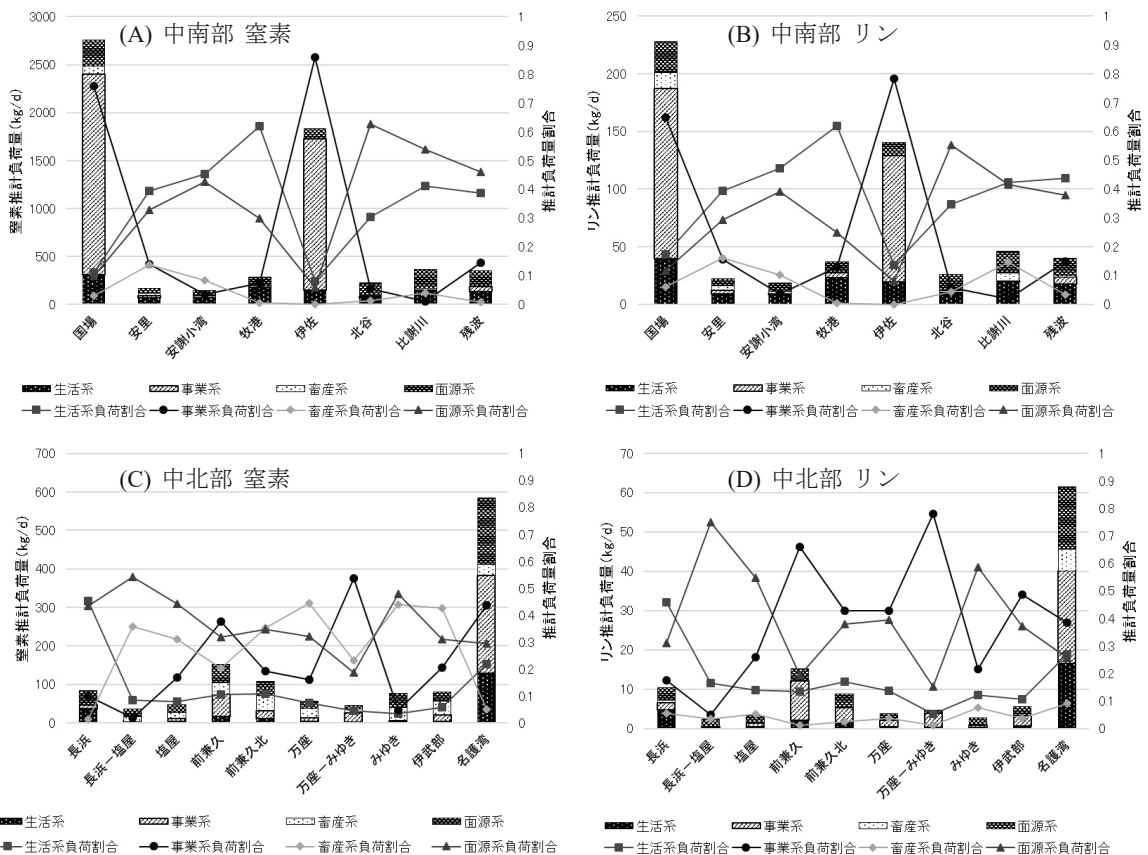


図 4. (A)は中南部流域の窒素負荷量推計値, (B)は中南部流域のリン負荷量推計値, (C)は中北部流域の窒素負荷量推計値, (D)は中北部流域のリン負荷量推計結果を示す.

### Ⅲ 結果と考察

#### 1. 各流域の負荷量の傾向

##### (1) 中南部地域 (図4, (A)・(B))

人口が多く都市化が進み、また流域面積も大きい中南部地域では各流域の負荷量が中北部地域より高い傾向にあった。都市の下水を受け入れる国場や伊佐では下水処理施設からの事業系負荷が高いと推計された。またその他の流域では概ね生活系負荷と面源系負荷が同程度の割合を占めるという推計結果であり、その傾向は窒素推計負荷量においてもリン推計負荷量においても同様であった。

##### (2) 中北部地域 (図4, (C)・(D))

中北部地域では中南部地域と比較すると推計負荷量が低い傾向にあった。窒素負荷については突出して高い割合を占める負荷はあまりなかったものの、リン負荷については長浜-塩屋では主に農地からの面源系負荷、前兼久や万座-みゆきではリゾートホテルなどの施設からの事業系負荷が高い割合を占めた。また負荷量推計値が大きい名護では、浄化槽からの生活系負荷、都市下水を受け入れる下水処理施設などからの事業系負荷、大きな流域面積に起因する面源系負荷のそれぞれが同程度の割合を占めると推計された。

#### 2. 過去の水質調査結果

過去に調査した沖縄島西海岸の海域地点 (図5) における全窒素 (TN) 及び全リン (TP) の平成25年度～平成30年度の水質調査結果は図6のとおりである。実際の海域環境では流況による拡散などの影響もあることや、陸域から海域の採水地点までの距離などには違いがあることから、単純に当該推計負荷量と同じように比較することはできない。しかしながら、中北部地域で高く、中南部地域で低い傾向は、原単位による推計結果の傾向と類似していると考えられた。

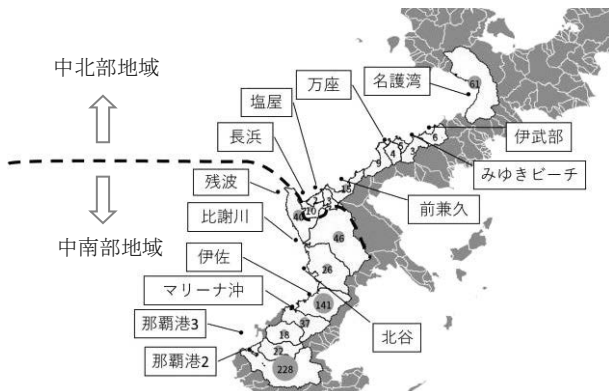


図5. 沖縄島西海岸海域の調査地点。流域内の数値はリン推計負荷量 (kg/d) を示す。

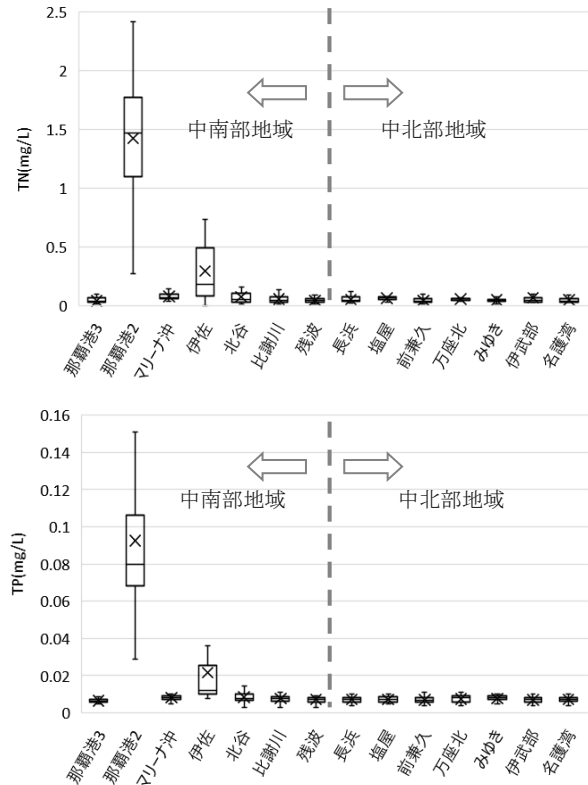


図6. 沖縄島西海岸海域における水質調査結果。

#### 3. 降雨状況による負荷量の変動について

6月はサンゴの産卵やオニヒトデの産卵イベントのある時期であり、窒素及びリンの陸域負荷量が海域環境へ与える影響は大きいと考えられる。また当該時期は梅雨時期でもあることから、多雨時における負荷量がどの程度変動するか推計した。

過去の石垣島轟川流域における調査報告<sup>11)</sup>によると、全リンの年間負荷量の約94%が降雨時に流出しており、それに対し窒素は約65%程度にとどまっている。同調査報告によると、窒素成分は表面流出と浸透流出の影響を受け<sup>11)</sup>ているが、リンのほとんどは表面流出で、浸透流出は少ないと推察<sup>11)</sup>されている。よって全窒素負荷量の変動については降雨の多寡に基づく季節性を踏まえることが困難であるため、今回はリン負荷量について季節性を踏まえて検討した。

面源負荷は主に降雨によって流出する負荷を指すが、梅雨時期は降水量の増大に伴って負荷量も増大すると考えられる。沖縄気象台那覇観測所における1991年～2020年の月降水量の平均値<sup>12)</sup>は図7の通りである。1, 2, 11, 12月は少雨傾向にあり、3, 4, 7, 10月は中程度の雨量、5, 6, 8, 9月は多雨傾向にある (表8)。これらの降雨傾向について、平均値 (1月～12月の月平均値は180mm) を1とした場合の比

として指数化し（小雨 0.62，通常 0.93，多雨 1.45）を図 4 で示した面源系負荷推計値部分に掛合わせた負荷量推計結果を図 8 に示す。

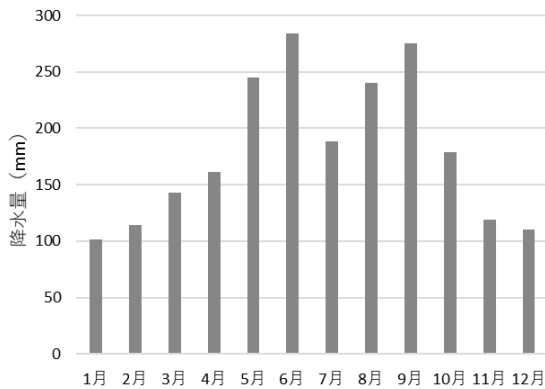


図 7. 那覇観測所の降水量平均値(1991年～2020年)。

表 8. 小雨期，通常期，多雨期の降水量。

分類	小雨期				通常期				多雨期				平均
	1月	2月	11月	12月	3月	4月	7月	10月	5月	6月	8月	9月	
降水量 (mm)	102	115	119	110	143	161	188	179	245	284	240	275	180
平均 (mm)	111				168				261				180
年平均に対する比	0.62				0.93				1.45				1.0

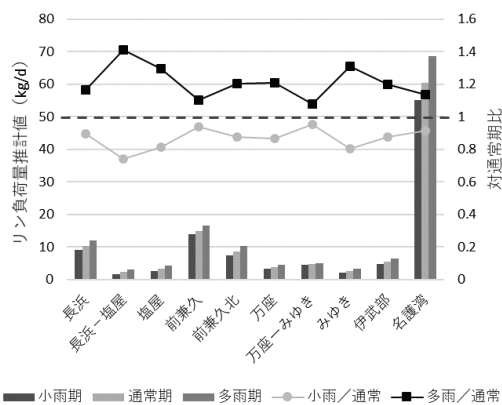
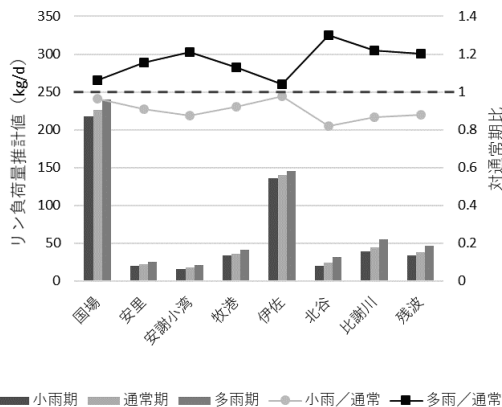


図 8. 降雨傾向を踏まえたリン負荷量推計値。

降雨に影響されない生活系負荷，事業系負荷の占める割合が高い地域（国場，伊佐，前兼久，万座一みゆき）ではそれほど降雨の影響は受けないが，面源系負荷の占める割合が高い地域（安謝小湾，北谷，比謝川，残波，長浜一塩屋，塩屋，前兼久北，万座，みゆき，伊武部）では通常期の 1.2 倍～1.4 倍程度に負荷量が増大すると推計された。特に中北部地域では元々の負荷量が小さいため，降雨による影響が強く表れる可能性がある。残波以北の沿岸海域は豊かなサンゴ礁生態系を有する沖縄海岸国定公園にも指定されており（図 9），観光産業や漁業での利用も盛んであることを踏まえると，今回推計した地域の中では多雨期における陸域対策の重要度は高いと考えられる。

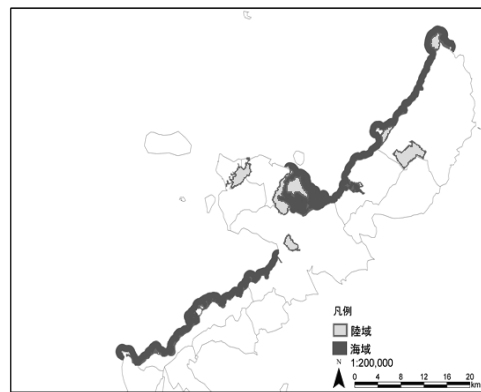


図 9. 沖縄海岸国定公園区域図面<sup>13)</sup>

なお，今回降雨時の言及をしていない窒素については降雨による表流水以外に地下浸透の占める割合も大きくなることから，全リンと同様な傾向とはならない可能性がある。またこれらの値はあくまで統計データから積み上げた定性的な推計値であることから実測による検証が望まれる。

#### IV まとめ

既存の情報を基に沖縄島西海岸における窒素及びリンの陸域負荷について推計したところ，以下のとおりであった。

- 1) 中南部流域と中北部流域を比較したところ，都市化した中南部流域では陸域負荷量が高く，中北部流域では陸域負荷量が低い傾向にあった。
- 2) 中北部地域は中南部地域と比較すると面源系負荷の割合が相対的に高く，多雨時期には負荷量増加の影響を受けやすいと考えられた。中北部西海岸は沖縄海岸国定公園にも指定されており，水産業や観光資源としてのサンゴ礁生態系の重要性も高いことから，同時期

における面源系負荷対策がより重要になると考えられた。

## V 参考文献

- 1) 北里大学 (2021) プレスリリース。  
 < <https://www.kitasato-u.ac.jp/jp/news/20210317-01.html> >  
 2022年9月アクセス。
- 2) 糸洲昌子・友寄喜貴・座間味佳孝・城間一哲・金城孝一 (2020) 原単位法を用いた沖縄県西海岸における窒素及びりんごの陸域負荷推計。沖縄県衛生環境研究所報, 54 : 63-70.
- 3) 国土交通省 GIS ホームページ国土数値情報ダウンロード土地利用細分メッシュデータ平成28年度 <  
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>>2022年9月アクセス。
- 4) 総務省統計局 政府統計ポータル e-Stat,  
 4次メッシュ境界データ <<https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=2&aggregateUnitForBoundary=H&prefCode=47&coordsys=1&format=shape>>,  
 メッシュ内人口データ <<https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=1&toukeiCode=00200521&toukeiYear=2015&aggregateUnit=H&surveyId=H002005112015&statsId=T000847>> (2022年9月アクセス)。
- 5) 沖縄県下水道課 (2018) 沖縄県市町村別污水处理施設整備状況(事業区分別)平成30年3月31日時点 <  
<https://www.pref.okinawa.jp/site/doboku/gesui/ryuiki/documents/seibijoukyouh29.pdf>> (2022年9月アクセス)。
- 6) 沖縄県下水道事務所 (2018) 沖縄県流域下水道維持管理年報. pp.12, 46.
- 7) 環境省 (2018) 平成29年度水質汚濁物質排出量総合調査結果報告書, pp.135-138.
- 8) 沖縄県統計課 (2017) 農林業センサス販売目的の家畜等を飼養している経営体数と飼養頭羽数 <  
<https://www.pref.okinawa.jp/toukeika/afc/2015/report/data/2-25.xlsx>>2022年9月アクセス。
- 9) 国土交通省 (2015) 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説. pp.50-51, 62, 70, 71, 75.
- 10) 大垣眞一郎 (2005) 河川と栄養塩類—管理に向けての提言—. 技報堂出版, 東京, pp.121.
- 11) 仲宗根一哉・比嘉榮三郎・大見謝辰男・安村茂樹・灘岡和夫 (2001) 石垣島轟川のSSと栄養塩濃度. 沖縄県衛生環境研究所報, 35 : 93-101.
- 12) 気象庁ホームページ過去の気象データ平年値 <  
[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml\\_sfc\\_year\\_m.php?prec\\_no=91&block\\_no=47936&year=&month=&day=&view=p1](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_sfc_year_m.php?prec_no=91&block_no=47936&year=&month=&day=&view=p1)> (2022年9月アクセス)
- 13) 沖縄県自然保護課ホームページ沖縄海岸国定公園 <  
[https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/shizen/koen/okinawa\\_kaigan\\_kokuteikouen.html](https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/shizen/koen/okinawa_kaigan_kokuteikouen.html)>2022年9月アクセス。