

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246086

研究課題名(和文) 亜熱帯島嶼生態系保全に向けた社会構造 - 物質循環 生態系応答過程の統合システム解析

研究課題名(英文) Integrated system analysis of community structure, material cycle and ecosystem response processes for ecosystem conservation in subtropical islands

研究代表者

灘岡 和夫 (NADAOKA, KAZUO)

東京工業大学・情報理工学研究所・教授

研究者番号：70164481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,100,000円

研究成果の概要(和文)：自然・社会条件が互いに大きく異なる石垣島、宮古島、与論島を主たる対象とした「比較島嶼学的アプローチ」により、畜産や観光セクター等に関する社会経済的調査を実施し、各セクターにおける負荷発生の構造的特徴を明らかにするとともに、調査結果やマテリアルフロー解析結果等に基づいて負荷制御の可能性について検討した。そして、陸源負荷の波及・物質循環過程、大気経由や地下水経由を含めた包括的環境負荷の実態を、現地調査・分析により明らかにした。さらに、サンゴ礁やマングローブ生態系等についての複合環境ストレス応答モデルを開発・高度化した。

研究成果の概要(英文)：As a 'comparative island study', we conducted socio-economic surveys on livestock and tourism industry sectors for Ishigaki, Miyako and Yoron Islands in Japan and found that the structural features of the generation of environmental loads in each sector. We examined possible ways for controlling the environmental load generation based on the results of the surveys and a material flow analysis on the nitrogen from cattle farms. We made also various field measurements to clarify the propagation and material cycle processes of the environmental loads through surface and ground water flows and atmospheric precipitation. Moreover we developed computational models to quantitatively describe and predict the responses of coral reef and mangrove ecosystems under multiple environmental stresses.

研究分野：工学

キーワード：比較島嶼学 サンゴ礁生態学 陸源負荷 生態系応答 地域社会 社会経済システム 物質循環 マテリアルフロー

1. 研究開始当初の背景

琉球列島は、多くが亜熱帯域に属し、その形成過程も反映してユニークな生物相を有している。なかでもサンゴ礁生態系はこの亜熱帯島嶼域を特徴づける最もシンボリックな存在であるが、近年、その劣化の進行が深刻になっている。その原因としては、サンゴ白化をもたらす海水温上昇に代表される地球規模の環境変動要因やサンゴ食害生物であるオニヒトデの大量発生などがあるが、さらに、1972年の沖縄本土復帰前後あたりから目立ちはじめ、いまだに主要なストレス要因となっている陸域からの過剰栄養塩や表層微細土壌(赤土)等の流入(陸源負荷)をあげる必要がある。サンゴ礁生態系は、本来、熱帯・亜熱帯の貧栄養海域において成立している系であり、サンゴ内部に共生している渦鞭毛藻の一種である褐虫藻等による基礎生産に依拠している系であることから、これらの陸源負荷はサンゴ礁生態系に大きなインパクトを及ぼす(Fabricius, 2005)。そのため、その適切な制御がサンゴ礁生態系の維持に不可欠となる。特に、上記の海水温上昇が地球規模の問題であることやオニヒトデ大量発生の原因がいまだに特定されていない(岡地, 2011)ことから、ともに制御可能性が低く対症的な対策にならざるを得ないため、陸源負荷の適切な制御は、サンゴ礁生態系劣化の進行を食い止める上での重要な課題となっている。

しかし現実には、いまだに有効な陸源負荷対策は進められていない。その現状を打破するためには、学術面からは、(1)島嶼系の地域社会経済システムの中で陸源負荷はどのような形でどの程度生成されているのか - 「島嶼系での社会経済システムから見た陸源負荷の生成過程の解明」、(2)陸源負荷がその発生源からどのようなプロセスを経て最終的にサンゴ礁生態系に波及しているのか - 「島嶼系での陸源負荷の波及過程・物質循環過程の解明」、(3)陸源負荷に加えてサンゴ礁生態系にはどのような環境ストレスがどのような形でどの程度作用しているのか - 「サンゴ礁生態系に作用する環境ストレスの包括的定量化」、(4)どの程度の環境ストレスレベルであればサンゴ礁生態系が維持できるのか - 「生態系のストレス応答過程の解明」、(5)サンゴ礁生態系を将来的に健全なレベルに維持可能とし地域社会の持続可能な発展と両立させるにはどうすればいいか - 「社会構造・物質循環・生態系応答過程の統合システム解析と将来予測」といった課題に取り組む必要がある。これらの諸課題はいずれも重要なテーマであるが、後述のようにいずれも研究が十分進んでいるとはいえないのが現状で、特に、上記(5)のテーマは、様々な専門分野・アプローチを統合して初めて達成可能なテーマであることから、ほとんど未開拓のテーマと言ってよい。

本研究は、研究代表者(灘岡)のこれまで

の数件の科研費基盤研究、新学術領域研究(次年度終了予定)の研究成果(p.10参照)や、日本サンゴ礁学会サンゴ礁保全委員会委員長としての学会活動、石西礁湖自然再生協議会主要メンバーとしての保全活動等での経験・活動成果をベースとし、それらを統合発展させるとともに、後述する「比較島嶼学的アプローチ」という生態系保全分野での新たなアプローチを導入してこれらの重要課題にチャレンジするものである。

2. 研究の目的

亜熱帯島嶼系としての琉球列島を特徴づけるサンゴ礁生態系が近年急速に劣化しつつあることから、サンゴ礁生態系を将来的に健全なレベルに維持可能とし地域社会の持続可能な発展と両立させるための学術面からの貢献を目指して、自然・社会条件が大きく異なりサンゴ礁生態系の特徴も大きく異なっているいくつかの島嶼系を対象とした「比較島嶼学的アプローチ」を新たに導入し、様々な数値モデル体系の開発や現地調査を実施することで、(1)島嶼系での社会経済システムから見た陸源負荷の生成過程の解明、(2)陸源負荷の波及過程・物質循環過程の解明、(3)サンゴ礁生態系に作用する環境ストレスの包括的定量化、(4)サンゴ礁生態系のストレス応答過程の解明を行い、それらに基づいて(5)社会構造・物質循環・生態系応答過程の統合システム解析と将来予測を行う。

3. 研究の方法

自然・社会条件が大きく異なりサンゴ礁生態系の特徴も大きく異なっているいくつかの島嶼系を対象とした「比較島嶼学的アプローチ」により、石垣島、宮古島、与論島を主たる対象として、社会経済システムから見た陸源負荷の生成過程、陸源負荷の波及過程・物質循環過程、大気経路や地下水経路を含めたサンゴ礁生態系に作用する包括的環境ストレス、およびサンゴ礁生態系のストレス応答過程を把握するための現地調査や航空写真・衛星画像解析等を実施する。また、これらの過程を定量的に評価するために、社会経済構造と土地利用・地質構造特性等を反映したセクター別負荷生成・波及過程に関するモデル開発を行うとともに、複合環境負荷・生態系応答モデルの開発を行う。これらに基づいて社会構造・物質循環・生態系応答過程の統合システム解析と将来予測を行うための革新的なツール群の開発を行い、サンゴ礁生態系の保全と地域社会の持続可能な発展を両立させるための学術的知見を提供する。

4. 研究成果

(1)島嶼系での社会経済システムから見た陸源負荷の生成過程の解明と制御可能性の検討:

島嶼系における窒素負荷に着目して、石垣島を主要な調査対象として、農業、畜産、市街地等からの発生負荷の空間分布構造を明ら

かにするとともに、1990年代に急増した畜産に焦点を当ててその歴史的な変遷過程を明らかにした。特に、急増前後で全島の牛の飼育頭数が2.5倍に増えたのに対して、環境への窒素負荷は3.6倍にも非線形的に増加し、島全体の窒素のリサイクル構造が成立しなくなっている状況を、肥料・飼料等の島嶼系外からの移入も含めたマテリアルフロー解析の結果から明らかにした。

奄美・琉球諸島のいくつかの代表的な島々において、環境負荷率、糞尿リサイクル率、農家所得、陸源負荷に対するサンゴ礁の脆弱性を表す礁池閉鎖度をそれぞれ指標化し、島嶼間及び経時的な比較を行うことで栄養塩負荷生成構造の島嶼間の違いや歴史的変遷特性を明確にした。そして、畜産に関する農家スケール経済・環境負荷生成モデルを基本単位とした島嶼スケールモデルを開発し、シナリオ分析を行うことを通じて、より効率的な栄養塩リサイクル構造のあり方を検討した。

石垣島周辺域を対象として、観光セクターの変遷過程を明らかにするとともに、仮想評価法（CVM）で用いられる支払い意志額（WTP）を普及啓発効果の定量化手段に応用することによって、普及啓発情報の提供により旅行者のWTPが有意に増加することを明らかにした。

衛星リモセン画像や様々な社会統計データ等を統合解析することによって、南西諸島の各島嶼の特徴を、サンゴ礁の発達状況や高島・低島の違い、人口分布データなどから総合的に評価し、socio-ecological resilienceの観点からの島嶼間比較を可能とした。

（2）島嶼系での陸源負荷の波及過程・物質循環過程の解明：

陸源負荷の波及過程に関して、石垣島と西表島の主要河川の河川流域に雨量計、水位計を設置することで流出状況を常時モニタリングするとともに、定期的に流域内で栄養塩や溶存態有機物の試料を採取した。その結果、石灰岩地帯を流れる河川では硝酸態窒素に富み、都市域を流れる河川ではアンモニアやリンに富むこと、西表島の河川では栄養塩レベルが概して低いことがわかった。また海域での広域多点サンプリング調査によって、栄養塩の波及過程の特徴を明らかにした。

さらに、イベント的負荷を発生させる台風に着目し、台風前後の多地点採水・センサー測定調査を石西礁湖・石垣島周辺海域で実施することにより、周辺陸地から沿岸海域への淡水や濁度の波及状況、および栄養塩類や有機物等の水質特性の分布構造を明らかにすることが出来た。

低島の一つで、サトウキビ栽培と繁殖用肉牛生産を中心とした集約的農業が展開され、窒素をはじめとする栄養流出が懸念される鹿児島県と論島において、そのような人為的な陸源栄養負荷がサンゴ礁生態系に及ぼ

す影響を調査する一環として、全島的な約20地点から地下水水質を採取・分析するとともに、同島東縁の沿岸における海水水質と藻類発生量をモニタリングするスキームを立ち上げ、継続実施した。また、サンゴ骨格に含まれる硫黄の安定同位体比を測定し、窒素質化学肥料に由来する硫黄の骨格への経年的な寄与率を推定した。

サンゴ礁生態系へ作用する負荷の一形態である、乾性・湿性エアロゾルに由来する活性窒素の降下量を測定し、その特徴を明らかにした。

石垣島吹通川河口周辺域において、マングローブ域内およびマングローブ域への流入・流出水に関する水質・水文・生態学的パラメータの総合的現地観測を実施することにより、マングローブ水域を経由する陸水が、前浜から流出する地下水よりも溶存態全窒素量が有意に低減されて流出することを明らかにした。また、前浜からの地下水流出が汀線に沿って数十メートルの空間スケールで局在化して生じていることを明らかにした。

さらに、マングローブ生態系とサンゴ礁生態系の連成構造を解明する研究の一環として、マングローブが生成するタンニンによる林床土壌からの溶存鉄の溶出に関する一連の研究を実施し、その成果をまとめて学術雑誌に掲載した。

また、観測・分析手法上の検討として、全炭酸の炭素安定同位体比を利用して群集代謝と地下水負荷の影響を比較する方法について検討し、数値モデル化を進めた。また、溶存有機物の炭素・窒素安定同位体比を利用した環境・代謝評価を試みた。

（3）サンゴ礁生態系に作用する環境ストレスの包括的定量化と応答過程評価のためのモデル開発および関連調査：

中村・灘岡らが開発してきている複合環境ストレス下でのサンゴ群体の動的応答過程を定量的に評価・予測可能なサンゴポリブモデルをベースとして、サンゴ礁3次元海水流動モデル等とリンクさせることにより、リーフスケールモデルへ発展させるとともに、白化応答プロセスも再現可能にするなどのモデルの高度化を実現させた。

サンゴ礁生態系のみならず、マングローブ生態系についても、マングローブ林の動態を定量的に記述でき、複合環境ストレス下での動的応答過程を定量的に評価・予測可能なモデルシステムを構築した。

さらに海草藻場の動態を複合環境下で定量的に評価・予測可能なモデルの開発にも着手しており、サンゴ群集・海草藻場・干潟・マングローブからなるサンゴ礁生態系全体としてのストレス応答過程を評価可能なモデル体系の構築のための基礎的な検討を行っている。

これらの生態系応答モデル開発と併行して、サンゴ礁に対する陸域からの淡水流入と海草藻場の影響を調査するため、造礁サンゴの移植実験を実施した。また海草藻場の炭素生産を基点とする食物網の構造とデトリタス生産に陸域からの栄養塩負荷が及ぼす影響に関して現地調査を実施した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 10 件)

Collin A, K. Nadaoka and L. Bernardo (2015): Mapping the socio-economic and ecological resilience of Japanese coral reefs across a decade, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 4, 900-927; doi:10.3390/ijgi4020900 (査読有)

中西康博・松谷達馬・小沢聖・成岡市・古家克彦・小笠原敬(2015): 海水由来栄養塩類の陸域への自然供給量 - 「塩益」の定量評価, 日本海水学会誌, vol.69, pp.4-13(査読有)

Sharma, S., Yasuoka, J., Nakamura, T., Watanabe, A., Nadaoka, K. (2014): The role of hydroperiod, soil moisture and distance from the river mouth on soil organic matter in Fukido mangrove forest, Proc. of the Intl. Conf. on Advances in Applied Science and Environmental Engineering- ASEE 2014. doi: 10.15224/978-1-62348-004-0-10 (査読有)

Collin, A., K. Nadaoka and T. Nakamura (2014): Mapping VHR Water Depth, Seabed and Land Cover Using Google Earth Data, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2014, vol.3(4), pp.1157-1179; doi:10.3390/ijgi3041157 (査読有)

Nakamura, T., K. Nadaoka and A. Watanabe (2013): A coral polyp model of photosynthesis, respiration and calcification incorporating a transcellular ion transport mechanism, Coral Reefs, vol.32, pp.779-794, DOI:10.1007/s00338-013-1032-2(査読有)

Thibodeau, B., T. Miyajima, I. Tayasu, A. Wyatt, A. Watanabe, N. Morimoto, C. Yoshimizu, T. Nagata (2013): Heterogeneous dissolved organic nitrogen supply over a coral reef: First evidence from nitrogen stable isotope ratios. Coral Reefs vol.32: pp.1103-1110, doi:10.1007/s00338-013-1070-9 (査読有)

Matsutani T., T Nagai, K Kinjyo and Y

Nakanishi (2013): Elution of dissolved Fe from mangrove soil by tannin solution, Wetlands Ecology and Management, vol.21, 2, pp. 107-115, 10.1007/s11273-013-9282. (査読有)

[学会発表](計 40 件)

Nakamura, T., K. Nadaoka, A. Watanabe and T. Yamamoto (2014): Reef-Scale Modeling System for Evaluating and Predicting Coral Responses to Future Environmental Changes, 3rd Asia-Pacific Coral Reef Symposium, Pingtung, Taiwan, 2014 年 6 月 25 日(口頭)

中村隆志, 灘岡和夫, 山本高大, 渡邊 敦 (2014):サンゴポリプモデルの拡張に基づくリーフスケール白化シミュレーション, 第 17 回日本サンゴ礁学会, 高知市, 2014 年 11 月 28 日(口頭)

Collin, A. and K. Nadaoka (2014): Mapping the resilience of the coral reef socio-ecosystems in Japan, Ocean Science Meeting, 23-28 February 2014, Hawaii Convention Center, USA (Poster)

宮島利宏, 渡邊敦, 中村隆志, 森本直子, 灘岡和夫(2013):サンゴ礁の炭素循環 研究への溶存無機炭素安定同位体比の応用, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 千葉県千葉市(幕張メッセ), 2013 年 5 月 19 日~24 日(ポスター)

森尚大, 灘岡和夫, A. Blanco, 渡邊敦, 中村隆志, 山本高大, 阿部友理子:石垣島・吹通川河口沿岸部におけるサンゴ礁海域への地下水流入特性, 第 15 回日本サンゴ礁学会, 東京都文京区(東京大学), 2012 年 11 月 24 日(ポスター)

竹内友哉, 灘岡和夫:サンゴ礁生態系への畜産起源栄養塩負荷発生構造の把握, 第 15 回日本サンゴ礁学会, 東京都文京区(東京大学), 2012 年 11 月 23 日(ポスター)

内藤明, 佐川鉄平, 秋田雄一, 下地理仁, 平野敦, 春口洋貴, 野口定松, 灘岡和夫:石垣島周辺海域の水平透明度の調査, 第 15 回日本サンゴ礁学会, 東京都文京区(東京大学), 2012 年 11 月 24 日(ポスター)

[図書](計 2 件)

Yamano H, Hata H, Miyajima T., Nozaki K, Kato K, Negishi A, Tamura M, Kayanne H (2014): Water circulation in a fringing reef and implications for coral distribution and resilience, in Nakano S, Yahara T, Nakashizuka T (eds.) The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative

observations and assessments of Asian
biodiversity, Springer, pp. 275-293.

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

灘岡 和夫 (NADAOKA, Kazuo)
東京工業大学・情報理工学研究科・教授
研究者番号：70164481

(2) 研究分担者

宮島 利宏 (MIYAJIMA, Toshihiro)
東京大学・大気海洋研究所・助教
研究者番号：20311631

中西 康博 (NAKANISHI, Yasuhiro)
東京農業大学・国際食料情報学部・准教授
研究者番号：60246668

中村 隆志 (NAKAMURA, Takashi)
東京工業大学・情報理工学研究科・講師
研究者番号：20513641

渡邊 敦 (WATANABE, Atsushi)
東京工業大学・情報理工学研究科・助教
研究者番号：00378001

(3) 連携研究者

()

研究者番号：