

機関番号：10101

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18067003

研究課題名（和文） 衛星による大気海洋環境変動と突発的現象の解明

研究課題名（英文） Mechanism on abrupt change of primary productivity by air-sea interaction using satellite remote sensing and numerical modeling

研究代表者

齊藤 誠一 (SAITOH SEI-ICHI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号：70250503

研究成果の概要（和文）：

衛星データ（海色画像や海面水温画像）を用いて台風などの突発的な現象が基礎生産過程に変化をもたらすことを統計的に解析した。台風の強度、速度、通過水深によって、基礎生産の上昇を推定できる経験式をもとめ、エルニーニョ期に上昇傾向があることを明らかにした。さらに数値モデルを用いて台風通過による混合・湧昇などの物理的機構を明らかにした。海洋短波レーダなどの物理データを組み合わせて台風通過後の黒潮流軸変動と基礎生産量の変化についても明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Using satellite data set on ocean color and sea surface temperature before and after typhoon passing around Japan, we examined statistically abrupt change of primary productivity. The constructed relationship requires variables of typhoon maximum sustained wind, typhoon transit speed and bottom depth of the location below the typhoon track. Typhoon-forced primary production enhancements and typhoon contributions to summer-fall new production during El Nino years tended to be higher than those during La Nina years. We developed a numerical model of typhoon which can simulate a magnitude of mixing and upwelling in sub-surface layer and examined the upper-oceanic response to a moving typhoon and the mechanism of the response. We investigated the movement of the Kuroshio axis and the change of primary production on the northeast shelf of Taiwan associated with the passage of typhoons, using sea surface current data observed by ocean radar system.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|------|------------|
| 2006年度 | 13,700,000 | 0 | 13,700,000 |
| 2007年度 | 12,900,000 | 0 | 12,900,000 |
| 2008年度 | 8,700,000 | 0 | 8,700,000 |
| 2009年度 | 8,700,000 | 0 | 8,700,000 |
| 2010年度 | 7,800,000 | 0 | 7,800,000 |
| 総計 | 51,800,000 | 0 | 51,800,000 |

研究分野：衛星海洋学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：衛星観測、突発的現象、台風、植物プランクトン、数値モデル、光学的特性

1. 研究開始当初の背景

高緯度、中緯度海域で大発生して大気への温室効果気体 DMS 放出する円石藻類や窒素固定作用をおこなうトリコデシミウム

(Trichodesmium) 藻類は、大気海洋間での物質循環に大きなインパクトを与えている。また、台風・黄砂など突発的なイベント前後に生物生産の増加がみられ、大気から海洋へ

の物理的・化学的インパクトが、どのように表層海洋生態系に影響を与えているか定量的な理解はまだ進んでいない。

風応力、表層水温、クロロフィルa濃度の変動などを観測・解析する衛星観測研究グループとメソスケール大気モデルと海洋モデルを結合したモデルを構築する研究グループとが協力して、台風や低気圧に対する海洋の応答の物理過程とこれに伴う生物生産の応答を研究することはこれまでなかった。これにより、突発的なイベントによる生物-物理カップリング過程が理解できる。さらに、円石藻類やトリコデシミウム藻類の2種の大発生する植物プランクトンに注目して、それらの大気海洋間での物質循環へのインパクトを定量化する手法を開発する。

これまで、台風などの大気擾乱により引き起こされる乱流混合、湧昇による水温低下などを再現する数値モデルを開発し、乱流モデルを海洋モデルに組み込みつつある。また、海色データによる円石藻類分類手法もすでに確立しており、準備状況も整っている。

2. 研究の目的

風応力、表層水温、クロロフィルa濃度の変動などを観測・解析する衛星観測研究グループとメソスケール大気モデルと海洋モデルを結合したモデルを構築する研究グループとが協力して、台風や低気圧に対する海洋の応答の物理過程とこれに伴う生物生産の応答を研究する。これにより、突発的なイベントによる生物-物理カップリング過程を理解することを目的とする。さらに、突発的なイベントによる基礎生産過程を理解するため、植物プランクトンのサイズと散乱スペクトルとの関係に視点を変え、大きなサイズ（主に珪藻類）、小さなサイズ（主にハプト藻類）、どちらが優占するかどうかを判別する手法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 基礎生産への台風イベントの影響

東シナ海・日本海と、南西部北太平洋、南シナ海との台風イベントの基礎生産過程への影響の違いを明らかにする。モデルグループと協力して台風による一次生産変動機構を検証する。現実の台風事例に対する海洋の応答について、海面における砕波も考慮した数値モデルを開発し、台風事例の観測データが得られた場合はシミュレーション結果と比較して、モデルの改善を図る。さらに、台湾東部での台風通過に伴う黒潮流軸の移動のメカニズムを遠距離海洋レーダと数値モデルにより明らかにする。人工衛星海面高度計により東シナ海、黄海の力学高度場の長期変動を調べる。

(2) 植物プランクトングループの分類

植物プランクトンのサイズと散乱スペクトルとの関係に視点を変え、大きなサイズ（主に珪藻類）、小さなサイズ（主にハプト藻類）、どちらが優占するかどうかを判別する手法を開発する。また同時に衛星からDMSF濃度を正確に推定する方法を開発し、クロロフィルa濃度、大気エアロゾルおよびPARの変動との関連性について海色衛星データを用いて解析する。

4. 研究成果

台風通過後の基礎生産への影響のスナップショット的な研究した例はあるが、本研究のように統計的に解析した例はないこととその物理的機構までは明らかにされていない。本研究は、生物生産過程の変化をもたらす乱流・湧昇などの物理的機構を明らかにする点と衛星データも海色データと海面温度・海上風・海洋短波レーダなどの物理データとを組み合わせる統合的に解析する点が特色であり、これまで国内外でこのタイプ研究はない。

(1) 基礎生産への台風イベントの影響

① 東シナ海陸棚域および日本海

これまで東シナ海での台風による一次生産の上昇について、衛星データによる解析を進めてきた。2004年9月の台風Meariでは、ARGOブイのデータも利用可能であり、詳細な物理・生物過程の変化が明らかとなった。また、台風の強度、速度、通過水深によって、基礎生産の上昇を推定できる経験式をもとめることで、過去35年間の台風による基礎生産の上昇の経年変動を計算し、エルニーニョによる強化と35年間での数の上昇による基礎生産の変動を明らかとした(図1)。さらに、日本海の北部と南部の垂表層クロロフィル極大や栄養塩躍層の違いによって、台風によるクロロフィルの増加にもはっきりした違いがあることを明らかにした。

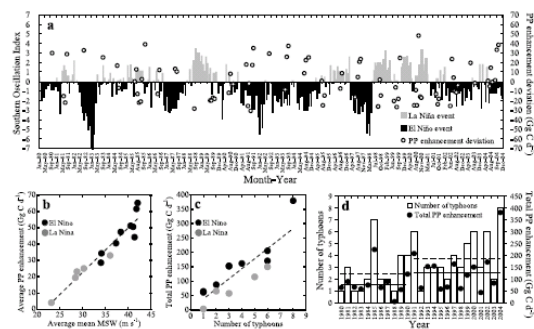


図1 1980年から2004年までのENSOイベントと台風通過後の基礎生産量の増加量との対応(Siswanto et al., 2007)

②北西北太平洋外洋域

1997年から2007年までの北西太平洋における台風の発生数237個のうち170個が衛星で観測できた。その中でクロロフィル-a濃度の上昇が見られた台風数は105個(61.8%)であった(図2)。

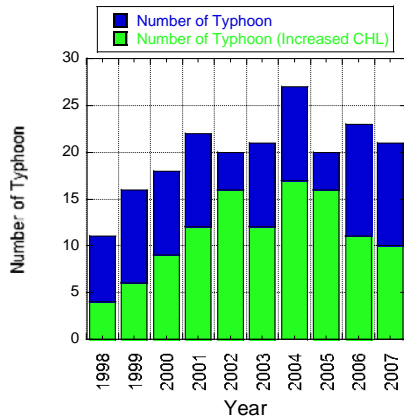


図2 衛星で観測できた台風(緑:クロロフィル-a濃度の上昇が見られた台風)

クロロフィル-a濃度の上昇時、水温が下降していることから、湧昇による栄養塩の供給が原因と考えられる。クロロフィル-a濃度の上昇は最大 3.5 mg/m^3 (この海域の一般的な値 0.05 mg/m^3 の70倍)、持続時間 (0.05 mg/m^3 より高い状態の期間) は約1週間~1ヶ月程度であった。年間の台風による基礎生産量の年間の増加量は、最大値 1600 GgC/year (2004年)(ギガグラム・カーボン)、最小値 61.4 GgC/year (1999年)、平均値 575 GgC/year と計算された(図3)。2007年の基礎生産量の増加の総量は、 170 GgC/year であった。これは、2006年までの平均値 539 GgC/year よりも小さく、2007年を含めた基礎生産量の増加の年平均値は 520 GgC/year となった。

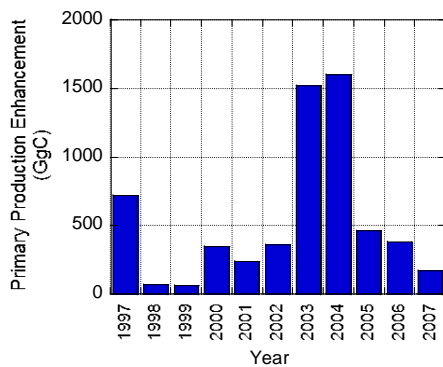


図3 台風による基礎生産量の年間増加量

③大気海洋相互作用

密度成層を考慮した乱流境界層スキームを組み込んだ海洋数値モデルを作成し、異なる移動速度の台風に対する海洋の応答の違いを明らかにした。また、この海洋数値モデルを温度と塩分の成層場にも適用できるように改善した。

台風によって生ずる海洋中の湧昇流のメカニズムにはエクマン湧昇と慣性湧昇(慣性波の運動に伴う湧昇)の2通りがあり、これらの応答が台風の移動速度とサイズにより、どのように変化するかを線形理論と現実的な非線形数値モデルにより明らかにした。

④衛星マイクロ波データおよび海洋短波レーダの解析

台湾北東海域において、台風の通過に伴う黒潮流軸の変動とそれに伴う基礎生産の増加について遠距離海洋レーダと人工衛星データを用い研究を行った。本研究により、台風の接近により黒潮流軸が陸棚上へ移動すること、そしてその移動は台風接近に伴う強い南風の連吹により起こることを明らかにした。さらに、黒潮流軸の陸棚上への移動に伴い黒潮の西側で湧昇が発生し、その数日後に基礎生産が増加することが分かった(図4)。

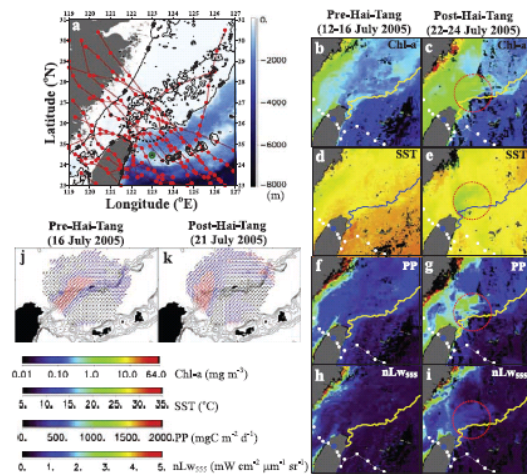


図4 台湾付近を通過した台風の経路(a)、台湾付近を通過した台風の通過前と通過後の画像(b-i)、通過前と通過後の黒潮流軸の変動(j, k) (Siswanto et al., 2009)

台湾北東海域では黒潮流軸が頻繁に陸棚上に乗り上げることにより大量の栄養塩が東シナ海へ輸送されている。さらに、台湾北東海域の黒潮を観測している遠距離海洋レーダのデータの処理方法の改良を行い、そのデータを使い台湾北東海域の黒潮流軸の時空間変動特性について調べた。解析の結果、台湾北東海域の黒潮の変動は30日以上周期と11-14日周期が卓越していることと、そ

これらの変動要因を明らかにした。

台湾北東海域における台風通過に伴う黒潮流軸の移動と広範囲の低水温域の形成過程を解明するため大気海洋結合モデルを使い再現を試みた。モデルの結果は海洋レーダにより観測された黒潮流軸の移動と衛星により観測された低水温域をよく再現しており、これら2つの現象が起こる過程を明らかにすることができた。

(2) 植物プランクトングループの分類

衛星海色データを用いて高緯度海域における植物プランクトン群集の機能別分類手法の開発を行った。光吸収係数および散乱係数の両方を用いたモデルを作成し、Size Index を定義した。Size Index とクロロフィル a 濃度についてベーリング海陸棚域およびチャクチ海陸棚域でその平均的季節特性を解析し、実際に海色衛星 Aqua で収集された MODIS 画像へ応用した。両海域で Size Index、クロロフィル a 濃度ともに、5 月、9 月にピークをとり、春季・秋季ブルーム時に大型群集が増加するといった一般的な傾向を示した。

DMS/DMSP のグローバルデータセットおよびそれに対応する海色衛星データから推定された植物プランクトンの機能別分類とクロロフィル a 濃度、および PAR データを利用し、衛星データから DMSP および DMS 濃度を推定するモデルを開発した。また、そのモデルにより DMS 濃度の全球マップを作成し気候値と比較したところ、これまでの衛星モデルよりも季節変動をより正確に表現することができた。

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 8 5 件)

- ① Suzuki, S., H. Niino, and R. Kimura, The mechanism of upper-oceanic vertical motions forced by a moving typhoon. *Fluid Dyn. Res.*, 43, 025504, (2011) 査読有
- ② Hirawake, T., Takao, S., Horimoto, N., Ishimaru, T., Yamaguchi, Y., and Fukuchi, M., A phytoplankton absorption-based primary productivity model for remote sensing in the Southern Ocean, *Polar Biology*, 34, 291-302 (2011) 査読有
- ③ Morimoto, A., S. Kojima, S. Jan, and D. Takahashi, Movement of the Kuroshio axis to the northeast shelf of Taiwan during typhoon events. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82, 547-552, (2009) 査読有

- ④ Siswanto, E., Morimoto, A. and Kojima, S., Enhancement of phytoplankton primary productivity in the southern East China Sea following episodic typhoon passage, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L11603, doi:10.1029/2009 GL037883, (2009) 査読有
- ⑤ Toratani, M., Primary production enhancement by typhoon Ketsana in 2003 in western North Pacific, *Proc. SPIE*, Vol. 7150, 715013; DOI:10.1117/12.806426, (2008) 査読無
- ⑥ Siswanto, E., J. Ishizaka, A. Morimoto, K. Tanaka, K. Okamura, A. Kristijono, and T. Saino, Ocean physical and biogeochemical responses to the passage of Typhoon Meari in the East China Sea observed from Argo float and multiplatform satellites, *Geophysic. Res. Lett.*, 35, L15604, doi:10.1029/2008 GL035040, (2008) 査読有
- ⑦ Muzzneena A.M and S.-I. Saitoh, Observations of sea ice interannual variations and spring bloom occurrences at the Japanese scallop farming area in the Okhotsk Sea using satellite imageries, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77, 577-588, (2008) 査読有
- ⑧ Toratani, M., Fukushima, H., Murakami, H. and Tanaka, A., Atmospheric correction scheme for GLI with absorptive aerosol correction. *Journal of Oceanography*, 63(3): 525-532. (2007) 査読有
- ⑨ Siswanto, E., J. Ishizaka, K. Yokouchi, K. Tanaka, C.K. Tan, Estimation of Interannual and Interdecadal Variations of Typhoon-Induced Primary Production: A Case Study for the Outer Shelf of the East China Sea. *Geophysic. Res. Lett.* 34, L03604, doi:10.1029/2006GL028368, (2007) 査読有

[学会発表] (計 5 8 件)

- ① Hirawake, T., Matsumoto, K., Shinmyo, K., Fujiwara, A., Saitoh, S.-I., Size structure of phytoplankton and optical properties in the Arctic Ocean in autumn, Ocean Optics XX, Sep 27 - Oct 1, 2010, Anchorage, U.S.A.
- ② Morimoto, A., Kojima, S., Jan, S. and Takahashi, D., Movement of the Kuroshio axis in the northeast shelf of Taiwan following typhoon passage, SOLAS Open Science Conference, November 17, 2009, Barcelona, Spain.

- ③ 森本昭彦・児島正一郎・Sen Jan, 台風通過に伴う台湾東部の黒潮流軸の変動, 2008年度日本海洋学会春季大会, 2008年3月28日, 東京海洋大学(東京都品川区).
- ④ Siswanto, E., J. Ishizaka, M. Toratani, T. Hirawake and S.-I. Saitoh, The effect of tropical cyclone on the primary production enhancement- Some results from the W-PASS (Western Pacific Air-Sea interaction Study) project, **16th PICES Annual meeting**, October 27, 2007, Victoria, Canada.
- ⑤ Siswanto, E. J. Ishizaka, K. Tanaka, K. Okamura, and A. Kristijono, Upper Ocean Responses to Typhoon Meari Passage in the East China Sea Observed from Argo Float and Satellite Observations, 2007年度日本海洋学会春季大会, 2007年3月21日, 東京海洋大学(東京都品川区).

[図書] (計3件)

- ① 齊藤誠一, 朝倉書店, 第9章 海洋とGIS, シリーズGIS 第5巻 社会基盤・環境のためのGIS, 2009, 135-149.

[その他]

ホームページ等

http://odyssey.fish.hokudai.ac.jp/MODIS/MODIS_daily_index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤 誠一 (SAITOH SEI-ICHI)
北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
研究者番号: 7 0 2 5 0 5 0 3

(2) 研究分担者

石坂 丞二 (ISHIZAKA JOJI)
名古屋大学・地球水循環研究センター・教授
研究者番号: 4 0 3 0 4 9 6 9

新野 宏 (NIINO HIROSHI)
東京大学・海洋研究所・教授
研究者番号: 9 0 2 7 2 5 2 5

虎谷 充浩 (TORATANI MITSUHIRO)
東海大学・開発工学部・准教授
研究者番号: 9 0 2 4 6 0 7 5

森本 昭彦 (MORIOMTO AKIHIKO)
名古屋大学・地球水循環研究センター・准教授
研究者番号: 8 0 3 0 1 3 2 3

平譚 享 (HIRAWAKE TORU)
北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授
研究者番号: 7 0 3 1 1 1 6 5