

機関番号：10101

研究種目：特定領域研究

研究期間：平成18年度～平成22年度

課題番号：18067004

研究課題名（和文） 気象擾乱による大気－海洋系物質循環および海洋生態系の応答

研究課題名（英文） Responses of marine ecosystem to weather disturbances  
of synoptic scale

研究代表者

山中 康裕(YAMANAKA YASUHIRO)

北海道大学・大学院地球環境科学研究所・教授

研究者番号：40242177

研究成果の概要（和文）：

西部北太平洋の熱帯海域において、数値計算モデルを用いて、台風の通過に対する植物プランクトンの応答を調べた。観測されたパッチ上の植物プランクトンブルームは、台風の移動速度が遅いときに再現されることが分かった。この強いブルームは、台風の中心部での有光層下に存在する(植物プランクトンの成長に必要な)栄養塩豊富な水が、湧昇によって引き起こされる。地球化学生物過程を導入した実験と導入しなかった実験を比較することにより、地球化学生物過程は、亜熱帯海域の台風通過後の応答に本質的な役割をしていることが分かった。また、大気ダスト輸送と大陸棚上の再無機化による鉄供給を含む鉄循環過程などを導入することで、海洋生態系モデルを改良した。その結果、全球規模の栄養塩やクロロフィル a の海水表層分布(特に鉄によって生物生産が制限されている北太平洋亜寒帯海域などの高栄養塩低クロロフィル a 領域にて)が改善された。

研究成果の概要（英文）：

In the western subtropical North Pacific, we investigated the response of phytoplankton to typhoon passage using a numerical model. We found the observed patch-like phytoplankton bloom was reproduced for slow-moving typhoons. The strong bloom is caused by the typhoon-centered upwelling of nutrient-rich water from below the euphotic layer, which supplies the nutrients required for phytoplankton growth, resulting in higher chl-a concentrations. Biogeochemical processes then play essential roles in determining the response after the passage of typhoons in subtropical regions, by comparing experiments with/without biogeochemical processes in the model.

We also improved a marine ecosystem model introducing iron cycle with iron supplies by the atmospheric dust transport and remineralization on the continental shelf etc. This improved surface distribution of nutrient and chlorophyll-a concentrations on the global scale, especially in the high nutrient and low chlorophyll-a regions such as the subarctic North Pacific due to biological production limited by iron concentration.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	10,600,000	0	10,600,000
2007年度	10,700,000	0	10,700,000
2008年度	10,800,000	0	10,800,000
2009年度	9,800,000	0	9,800,000
2010年度	9,200,000	0	9,200,000
総計	51,100,000	0	51,100,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：海洋生態系・台風・モデリング・物質循環・気候変動・大気海洋相互作用

#### 1. 研究開始当初の背景

地球圏・生物圏国際共同研究計画(IGBP)のプロジェクト海洋・大気間の物質相互作用計画(SOLAS)に完全に対応したモデリングであり、地球シミュレーターを用いた全球的な視点から行っている「人・自然・地球共生プロジェクト」より細かなスケールや詳細な物質循環や生態系の振る舞いを扱う補完的あるいは先導的な役割を持つ。

#### 2. 研究の目的

西部北太平洋において、高低気圧や台風などの総観規模の気象現象が大気による物質輸送や海洋表層における物質循環・生態系にどのような影響を与えるかを、モデリングによって明らかにする。具体的には、台風や強い低気圧による突発的な気象現象による海洋生態系や物質循環の応答、などを明らかにする。

#### 3. 研究の方法

台風による海洋生態系および海洋物質循環の応答：亜熱帯海域における水温や栄養塩の典型的な鉛直分布を仮定した際に、台風強度、空間的な大きさや移動速度に対する、生物量や生物生産の応答について、ケーススタディーを行う。特に、計画研究班 A03-4 の衛星観測グループによって指摘された「台風の転向点付近に形成された 100km スケールのパッチ状の高濃度クロロフィル領域」について、どのようなメカニズムが働いたかを明らかにする。ケーススタディー結果を参照テーブルとしてまとめ、台風強度、経路のデータベースを組み合わせることにより、台風で励起される生物生産量を台風毎、年毎にまとめる。これらにより、熱帯域の総生産に関する台風の影響、経年変動などを明らかにする。海洋生態系モデルに組み込まれた海洋物質循環の高度化：鉛直一次元海洋生態系モデルに組み込まれている鉄循環過程や窒素・炭素・酸素同位体に関する過程の高度化などを行う。そのことにより、観測結果のモデルによる統合化と同時にモデルの高度化を目指す。また、全球 3 次元海洋生態系モデルに鉄循環過程を組み込む。高気圧・低気圧などの気象擾乱によるダスト・フラックスを与え、気象擾乱の役割を明らかにしていく。

#### 4. 研究成果

台風による海洋生態系および海洋物質循環の応答：計画研究班 A03-4 の衛星観測グループによって指摘された「台風の転向点付近に形成された 100km スケールのパッチ状の高濃

度クロロフィル領域」について、計画研究班 A03-4 の海洋物理モデルグループとの共同研究として明らかにした。一般的に、熱帯域の栄養塩躍層は深さ 100-150m に存在し、それより浅い表層では栄養塩が枯渇している。台風の移動速度が時速 10km 以下になると、台風中央付近のエクマン発散に伴う湧昇が栄養塩躍層を上昇させ、強風によって深くなった海洋混合層に栄養塩が供給されると、衛星観測に見られるようなクロロフィル高濃度が海洋表層に形成されることが明らかになった。栄養塩躍層の上昇は、風応力によるエクマン発散に伴う湧昇と励起された慣性振動との関係で決まり、移動速度が時速 10km 以上になると、栄養塩が混合層に供給されにくくなる。これらの考察により、高濃度クロロフィル領域は、台風の強度よりも、むしろ移動速度に依存することが分かった。これより、台風の移動速度を観測されたもののように変化させると、衛星観測で見つけられた 100km スケールのパッチ状の高濃度クロロフィル領域を再現することが出来た。

さらに、アルゴリズム開発および参照テーブルの作成を行った。台風によって励起された領域の大きさや継続時間のとり方により、一つの台風による総生物生産量が大きく変わることが分かったために、参照テーブルに用いたアルゴリズム開発が、当初の見込みより難しいものとなった。参照テーブルは、台風の速度を時速 7.2 や 21.6km に加え時速 3.6km, 10.8km 等としたケース、台風の中心風速を 30m/s に加え 20m/s, 40m/s, 50m/s, 60m/s 等としたケースより作成した。

このアルゴリズムおよび参照テーブルを 1997 年の 28 個の台風に適用し、各台風に対する総生物生産量を見積もった。台風の中心風速 20m/s ~ 50m/s だった参照テーブルを 60m/s を追加して、特に強い台風に対する影響に対する見積もりの改良を行った。その結果、亜熱帯海域の生物生産の 4.2%、新生産のおよそ 30% が台風によることが見積もられた。より長期的に見積もっても、年々毎の生産量は変わるものの新生産の 4% 前後の値であった。従来の衛星の見積もりに比較すると過大評価していることが分かったため、衛星観測による見積もりを検討すると、衛星観測で全期間見積もりが行われている強い台風についてはほぼ一致する一方、衛星観測で雲に覆われている欠損期間がある台風については、本研究が過大評価となっている。これについては、衛星観測による見積もりを見直した結

果、衛星観測が過小評価している可能性が強まった。

海洋生態系モデルに組み込まれた海洋物質循環の高度化：海洋生態系モデル NEMURO に簡単な鉄循環過程を組み込み、日本近海の親潮域にある観測定点 A7 に適用した。鉄の予報変数として溶存鉄(自由態・錯体態)・粒子状鉄・ダストを扱い、境界条件として、大気物質輸送モデル SPRINTER から得られたダストデータ(1996年から2006年までの平均した気候値)や有光層下の粒子状鉄濃度を与え、そのもとでの溶存鉄・鉄総量の季節変化を再現した。観測から推定されている各種のパラメータ(粒子状鉄の溶解速度・光合成における鉄濃度に対する半飽和定数)などの範囲内で、観測された季節変化(溶存鉄は冬季から春季まで  $1\mu\text{mol/l}$  程度あるが、夏季には  $0.1\mu\text{mol/l}$  ぐらいの枯渇状況)を再現することに成功した。珪藻類の光合成は、春季ブルームの後半の時期は、ケイ酸塩制限となるが、それ以外の時期は、鉄制限状態にあることが分かった。また、有光層内への鉄の供給は、主として有光層下層からであった。これらの知見をもとに、溶存鉄と粒子状鉄、および、起源としてダストと大陸棚から溶解を考慮した鉄循環過程を導入し、ミカエリスメンテン式から最適栄養塩取り込み(OU Kinetics)に変更、大小の沈降粒子の導入など、また、パラメータ調整も遺伝的アルゴリズムによる方法を全球規模の海洋生態系モデルに導入した。各海域で観測された栄養塩・クロロフィル濃度などの再現性が向上することを確認した。また、日本海における、ダストにより窒素供給に伴う生態系の応答について、突発的気象現象に関しては1日間隔より短い風応力を適用すべき等が分かった。

#### 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)

1. T. Hirata, N. Hardman-Mountford, R. Brewin, J. Aiken, R. Barlow, K. Suzuki, T. Isada, E. Howell, T. Hashioka, M. Noguchi-Aita, Y. Yamanka: Synoptic relationships quantified between surface Chlorophyll-a and diagnostic pigments specific to phytoplankton functional types. *Biogeosciences*, 査読有, **8**, 311-327, (2011).
2. M. Shigemitsu, Y. Yamanaka, Y. W. Watanabe, N. Maeda, S. Noriki: Seasonal characteristics of the nitrogen isotope biogeochemistry of settling particles in the western subarctic Pacific: a model study.

*Earth and Planetary Science Letters*, 査読有, **293**, 180-190, (2010).

3. M. Shigemitsu, Y. W. Watanabe, Y. Yamanaka, M. C. Honda, H. Kawakami: A model for the relationship between sinking organic matter and minerals in the shallow zone of the western subarctic Pacific. *Journal of Oceanography*, 査読有, **66**, 697-708, (2010).
4. 鬼塚剛, 柳哲雄, 鶴野伊津志, 尹宗煥: 日本海低次生態系モデリング. 沿岸海洋研究, 査読有, **47**, 147-154, (2010).
5. K. Misumi, Y. Yamanaka, E. Tajika: Numerical simulation of atmospheric and oceanic biogeochemical cycles to an episodic CO<sub>2</sub> release event: implications for the cause of mid-Cretaceous Ocean Anoxic Event-1a. *Earth and Planetary Science Letters*, 査読有, **286**, 316-323, (2009).
6. Yamamoto, Y. Yamanaka, E. Tajika: Modeling of methane bubbles released from sea-floor gas hydrate: Condition required for methane emission to the atmosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 査読有, **284**, 590-598, (2009).
7. S. L. Smith, Y. Yamanaka: Quantitative Comparison of Photoacclimation models for marine phytoplankton. *Ecological Modeling*, 査読有, **201**, 547-552, doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.016, (2007).
8. Aita M. N., Y. Yamanaka, M. J. Kishi: Interdecadal Variation of the Lower Trophic Ecosystem in the Northern Pacific between 1948 and 2002, in a 3-D implementation of the NEMURO model. *Ecological Modeling*, 査読有, **202**, 1-2, 81-94, (2007).
9. Hashioka, T. and Y. Yamanaka: Seasonal and regional variations of phytoplankton groups by top-down and bottom-up controls obtained by a 3-D ecosystem model. *Ecological Modeling*, 査読有, **202**, 1-2, 68-80, (2007).
10. Yoshie N., Y. Yamanaka, K. A. Rose, D. L. Eslinger, D. M. Ware and M. J. Kishi: Parameter sensitivity study of the NEMURO lower trophic level marine ecosystem model. *Ecological Modeling*. 査読有, **202**, 1-2, 26-37, (2007).

[学会発表] (計 12 件)

1. M. Shigemitsu, Y. Yamanaka, Y. W. Watanabe, I. Kriest, A. Oschlies, N. Okada, N. Maeda, S. Noriki: Seasonal characteristics of the carbon isotope biogeochemistry of settling particles in the western

- subarctic Pacific: a model study. GEOTRACES Data-Model Synergy Workshop, Paris, France, 2009年12月7日.
2. Oka, A., H. Hasumi, H. Obata, T. Gamo, Y. Yamanaka: Study on vertical profiles of rare earth elements by using an ocean general circulation model. GEOTRACES Data-Model Synergy Workshop, Paris, France, 2009年12月7日.
  3. Onitsuka G, Uno I, Yanagi T, Yoon J-H: Modeling the effects of atmospheric nitrogen input on biological production in the Japan Sea, SOLAS Open Science Conference 2009, Barcelona, Spain, 2009年11月10日
  4. Y. Yamanaka, S. Lan Smith, H. Sumata, N. Yoshie, T. Hashioka, T. Okunishi, M. Shigemitsu, M. N. Noguchi, N. Okada: New NEMURO-based model incorporating the iron cycle. PICES 18th Annual Meeting, Jeju, Korea. 2009年10月28日.
  5. 重光雅仁, 山中康裕, 渡辺豊, 岡田直資, 前田亘宏, 乗木新一郎: 海洋沈降粒子中の有機炭素安定同位体比の季節変動要因解析. 2009年度地球化学学会年会, 広島, 2009年9月17日.
  6. M. Shigemitsu and Y. Yamanaka: Which ballast minerals control the flux of organic matter to the bathypelagic zone in the western subarctic Pacific, opal or CaCO<sub>3</sub>?, IGBP Symposium "Frontier of integrated research activities on east Asian and global environment", 小樽, 2009年4月16日.
  7. R. Shibano and Y. Yamanaka: Response of marine ecosystem to typhoon passage. IGBP Symposium "Frontier of integrated research activities on east Asian and global environment", 小樽, 2009年4月16日.
  8. Y. Yamanaka: Future Projection of marine biogeochemical cycling and fish resources in the North Pacific. IGBP Symposium "Frontier of integrated research activities on east Asian and global environment", 小樽, 2009年4月14日.
  9. 柴野良太・山中康裕・岡田直資・中田隆・鈴木真一・新野宏: 台風に対する海洋生態系の応答. 2008年度日本海洋学会, 広島, 2008年9月26日.
  10. 重光雅仁, 山中康裕, 渡辺豊, 前田亘宏, 乗木新一郎: 生態系モデルを用いた沈降粒子中窒素安定同位体比の季節変動の解析. 2008年度日本地球化学学会年会, 東京, 2008年9月18日.
  11. 重光雅仁, 渡辺豊, 山中康裕, 本多牧生: 西部北太平洋亜寒帯域"Twilight zone"における沈降粒子中窒素の分解過程とそれが窒素同位体比に及ぼす影響. 日本地球化学学会, 岡山, 2007年9月19日.
  12. M. N. Aita, A. Ishida, Y. Yamanaka: Interannual to interdecadal variations of Primary Production and Air-Sea CO<sub>2</sub> flux in the North Pacific using a 3-D NEMURO MODEL. IUGG XXIV General Assembly, Perugia, Italy, 2007年7月6日.
- 〔図書〕(計 0 件)  
〔産業財産権〕  
○出願状況(計 0 件)  
○取得状況(計 0 件)
- 〔その他〕  
ホームページ等  
なし
6. 研究組織
    - (1)研究代表者  
山中 康裕 (YAMANAKA YASUHIRO)  
北海道大学・大学院地球環境科学研究所・教授  
研究者番号: 40242177
    - (2)研究分担者  
鬼塚 剛 (ONIZUKA GOH)  
独立行政法人水産総合研究センター 中央水産研究所・研究員  
研究者番号: 40399647
    - (3)連携研究者  
相田真希 (AITA N. MAKI)  
独立行政法人海洋研究開発機構地球環境変動領域・技術研究副主任  
研究者番号: 90463091