

Bottom-upとTop-down制御による海洋食物連鎖の平衡解

Equilibrium Solutions for Marine Food-chain to Bottom-up and Top-down Controls

*磯田 豊¹

*Yutaka Isoda¹

1. 北海道大学大学院水産科学研究院

1. Hokkaido University

1. はじめに

古海洋は専門外なので間違っているかもしれないが、古海洋研究では海底堆積物中の微化石や魚の鱗などの生物指標を用いることが多いように思う。また、対象とする時間スケールが千年～万年単位の超長周期なので、下記に紹介する食物連鎖を考慮した生物指標の量的大小（変動）の議論に、どれだけ意味があるかはわからない。ただ、古代生物であっても子孫を生み続けて、進化して現在の海洋生態系まで繋がっているの
で、「食う-食われる」の捕食被食関係はあったはずと思う。そう願って、多段階（ここでは4段階）の食物連鎖を簡単な数理モデルで表現し、その平衡解を眺めながら、超長周期（古海洋時間スケール）の生態系応答を考えてみたい。

2. 食物連鎖が4段階（4-Level）のVolterra式

Nは栄養塩（窒素など），Pは植物プランクトン，Zは動物プランクトン，Fは魚を示す各Stock量とし，単純なFlow項とLoss項で表現されるVolterra式は下記となる（Fig.1参照）。

$$dN/dt = -(\alpha_p P) N + (N_0 - N) \theta [t-n]/t_a \quad (n=1,2 \dots \text{年}) \quad (1)$$

$$dP/dt = -(\alpha_z Z) P + (\alpha_p N) P - \beta_p P \quad (2)$$

$$dZ/dt = -(\alpha_f F) Z + (\alpha_z P) Z - \beta_z Z \quad (3)$$

$$dF/dt = (\alpha_f Z) F - \beta_f F \quad (4)$$

ここで， α はFlow（同化）率， β はLoss（死亡）率を示し， $\theta [t-n]/t_a$ は年1回の春季ブルームを表現する関数である。

3. 4-Level食物連鎖の平衡解

Flow率を簡単化のため同値（ $\alpha = \alpha_p = \alpha_z = \alpha_f$ ）， $\theta = 1$ を仮定し，各Levelの平衡（定常）解 N^* ， P^* ， Z^* ， F^* を求めると

$$\text{Level-1 } N^* = (\beta_f + \beta_p) / \alpha$$

$$\text{Level-2 } P^* = (N_0 / (\beta_f + \beta_p) - 1 / \alpha) / t_a$$

$$\text{Level-3 } Z^* = \beta_f / \alpha$$

$$\text{Level-4 } F^* = P^* - \beta_z / \alpha$$

となる。これらの平衡解は興味深い性質をもつ。まず、全てのLevelのStockは最上位の捕食者（F）のLoss率 β_f に依存する。すなわち、FのLoss率 β_f が増加/減少すると、奇数番であるLevel-1（ N^* ）と3（ Z^* ）のStockは増加/減少するのに対し、偶数番であるLevel-2（ P^* ）と4（ F^* ）のStockは逆に減少/増加する。さらに、偶数番のLevel-2（ P^* ）と4（ F^* ）のみが、最下位の栄養塩 N_0 の関数である。すなわち、偶数番LevelのStockのみ、 N_0 が増加/減少すると増加/減少する。このように、偶数番と奇数番のLevelで異なった応答を示す性質は、食物連鎖のLevel数を変えても同じである。

この平衡解を用いて、近似的に超長周期の変動に対する生態系応答を推測してみよう。Top-down制御を最上位捕食者（F）のLoss率 β_f の変動と考えれば、[N,Z]と[P,F]はお互い逆位相の変動を示す。一方、Bottom-up制御を栄養塩供給量 N_0 の変動と考えれば、[P,F]はNに同期した変動として現れるが、[Z]の変動がどうなるかはわからない。それゆえ、海洋生態系がTop-downとBottom-upの制御、いずれが支配的な状態なのかの診断は、Stockデータが示す[Z]と[N,P,F]の位相関係にある。講演では現代の北太平洋生態系を例に、どちらの制御にあるのかの診断を試みる。古海洋研究において、研究対象とした生物指標が古代食物連鎖のどの食物段階（Level）に位置しているかに依存して、環境変動と生物指標変動の位相関係が違って見えるかもしれない？と夢想する。

キーワード：Bottom-up制御、Top-down制御、海洋食物連鎖、Volterra式

Keywords: Bottom-up control, Top-down control, Marine food-chain, Volterra equation

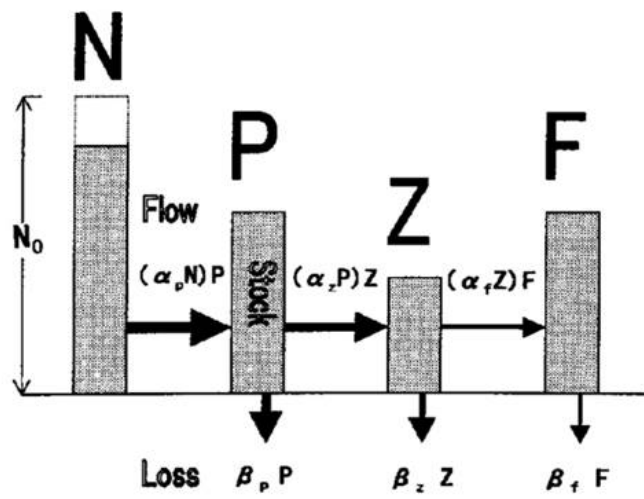


Fig. 1. Diagram of the dynamics of our food-chain model with four stock levels: N (nutrient), P (phytoplankton), Z (zooplankton), and F (fish).

数値シミュレーションを用いた過去1万年間の東京湾の潮汐変化推定 Tidal changes in the Tokyo Bay during the last 10,000 years estimated from a numerical model

*上原 克人¹

*Katsuto Uehara¹

1. 九州大学

1. Kyushu University

1. はじめに

潮汐や潮流の影響が相対的に大きい沿岸域では、地質記録から古海水準や物理・生物環境を復元する上で、過去の潮汐に関する知見は大切な情報である。数値モデルを使った沿岸域古潮汐復元の試みは、カナダ・ファンディ湾を対象としたScott and Greenberg (1983)など、海外では多くの実施例があるが、日本では一次元モデルを使った大阪湾に関するTojo et al.(1999)以外にない。本研究では、東京湾における過去1万年間の古潮汐変動を二次元数値モデルにより推定した。

2. 東京湾の地形変化

潮汐変化をもたらす最大の要因は、地形変化(水深と湾長)である。東京湾では、東木(1926)による古海岸線復元を端緒に地質情報に基づく古環境復元が数多く行われ、不十分ながら日本で最も古地形情報が得られている内湾の一つである。特にこの10年間、湾奥の東京低地・中川低地では高密度のボーリングコア情報を利用した詳細な古地形の復元が進められている(田辺、2013)。過去の知見によれば、東京湾は海面が低かった時代には干出していたが、約1万年前頃からの海面上昇に伴って海水が流入するとともに湾域が広がり、縄文海進期と呼ばれる約6～7千年前には海岸線が現在よりも陸側に70km前後後退していたと考えられている。

3. 手法

本研究では、既存の地質解析の成果を利用して1万年前から4千年前までの古地形を千年ごとに復元し、二次元潮汐モデルと組み合わせることで、古潮汐を推定した。駆動源となる外洋潮汐は、全球古潮汐モデル(Uehara et al., 2006など)にて大きく変化していなかったことから、現世の値を用いた。

4. 結果

数値計算を行った結果、東京湾の潮差は湾域の拡大とともに増大し、縄文海進期には湾奥の潮差が現在よりも52～93%増大していたと推定された。この値は、線形で摩擦を考慮しない解析モデルによる藤本(1990)の結果(現世の3倍の潮差)よりかなり小さいが、摩擦や詳細な地形を取り入れた分、今回の推計の方がより現実に近いと考えられる。さらに内湾域のタイダル・プリズムの増加に伴い、湾口の潮流流速の増加が認められた。潮流による海水交換の増加が、内湾の環境変化をもたらしていた可能性がある。強い潮流は、海面上昇が始まった時期にも見られ、湾内外に存在する完新世基底礫層の形成と関係していた可能性がある。

5. おわりに

物理的手法に基づく本研究結果は古地形や海水準など地質学的知見に大きく依存している一方、侵食のため地層が残っていない場所に関する情報など、地質解析の精度向上に還元できる部分も多々あると思われ、両者を組み合わせることで古環境復元の一層の精度向上に結びつくことが期待される。

キーワード：完新世、古潮汐、数値シミュレーション、奥東京湾、海水準変動

Keywords: Holocene, paleotides, numerical simulation, Oku-tokyo Bay, Sea-level change

Possible oceanic signals of the 18.6-year period modulation of tide-induced vertical mixing

*長船 哲史¹

*Satoshi Osafune¹

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Bi-decadal variability is one of the prominent features of the decadal to multi-decadal ocean and climate variability in the North Pacific. This has received considerable attention, because this is seen in many societally important variables such as air temperature, precipitation, and even fishery resources. However, while several possible mechanisms underlying this variability have been proposed, it has not been fully understood. The 18.6-year nodal tidal cycle related to the precession of the moon's ascending node is a possible one. It is known that the diurnal tides induce strong vertical mixing around steep topographies like sills in the Kuril Straits and the Aleutian Passes, and this strong mixing is thought to play important roles in water-mass modification. The 18.6-year cycle largely modulates the amplitudes of the major diurnal tidal constituents by 11% and 19% for K_1 and O_1 , respectively. Thus, it is hypothesized that the modulation of mixing contributes to the bi-decadal variability in water-masses in the North Pacific and its marginal seas. Using the historical ocean observation data, I found various bi-decadal variations downstream of the strong mixing regions, which can be explained qualitatively by the modulation of vertical mixing, although it is difficult to prove whether those are really the 18.6-year period signals by using only the limited observation data.

キーワード：20年変動、潮汐18.6年振動、潮汐鉛直混合

Keywords: bi-decadal variability, 18.6-year nodal tidal cycle, tide-induced vertical mixing

海洋プランクトン（放散虫）の化石に記録された完新世における日本海固有水の変化

Holocene changes of the Japan Sea Proper Water (JSPW) inferred from marine plankton (radiolarian) fossil records

*板木 拓也¹、池原 研¹

*Takuya Itaki¹, Ken Ikehara¹

1. 産業技術総合研究所

1. Geological Survey of Japan, AIST

The Sea of Japan has its own deep-circulation system, with its deeper parts occupied by cold and highly oxygenated water formed by winter convection in the northwestern part of the sea. According to recent observations, such deep convection has been weakened with the global warming. How was in the past warming before the historical period? For example, it is well known the warmer climate during the Jomon period (ca. 7,300 years ago) in the mid-Holocene. Here, we will discuss about the deep-circulation changes in the Japan Sea during the past 12,000 years (Holocene) based on marine plankton (radiolarian) fossil records.

Radiolarians are planktonic Protozoans widely distributed in the world ocean, and their skeletons composed of opal are preserved in marine sediments. Many radiolarian species are restricted to discrete depth intervals and the depths at which they dwell are closely related to the vertical water structure. As a result, radiolarian fossils prove to be useful indicators not only in the reconstruction of the surface water conditions, but also for the conditions of the water masses at intermediate and deeper depths. In the Sea of Japan, investigations based on plankton tows and surface sediments revealed that *Cycladophora davisiana* occurs in a depth interval between 1,000 m and 2,000 m (deep layer of JSPW = Japan Sea Proper Water), and *Actinomma boreale* group in depths below 2,000 m (bottom layer of JSPW).

The study of six sediment cores located in water depths ranging from 300 to 3,600 m show that the radiolarian assemblages have varied during Holocene, indicating changes in water-ventilation strength in this marginal sea. Bottom-water ventilation has been dependent on high-salinity inflow through the Tsushima Strait in the south and winter cooling in the northwestern part of the Sea of Japan. Deep water was being actively formed in the early Holocene. This bottom-water formation has resulted in relatively constant water composition since 9 cal ka BP, with the overall increase in high-salinity oceanic-water inflow, although the latter decreased transiently from 7,000 to 5,000 years ago in concert with climatic warming.

キーワード：古海洋学、微化石、水塊構造

Keywords: Paleoceanography, Microfossil, water structure

日本海における古海洋環境復元と物理モデルのコラボレーション

Collaboration study of paleoceanography and physical model in the Japan Sea

*佐川 拓也¹、郭 新宇²

*Takuya Sagawa¹, Xinyu Guo²

1. 金沢大学理工研究域、2. 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

1. Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, 2. Center for Marine Environmental Studies, Ehime University

日本海は隣接する海域と繋がる海峡の水深が浅い縁辺海であるため、過去の海水準変動に強く影響を受けてきた。約2万年前の最終氷期最盛期（LGM）には大陸氷床が大きく発達し、海水準が現在よりも約130 m低かった。これは現在の対馬海峡や津軽海峡の水深とほぼ同程度であるため、当時の日本海は孤立した状態にあり対馬暖流は流入していなかったと考えられている。その後、氷期から後氷期にかけて起こった大陸氷床の融解によって、海水準は徐々に上昇するが、古生物学的記録によるとまず最初に日本海に流入したのは親潮であり、その後対馬暖流の流入が続いたことが示唆されている。現在の対馬暖流は対馬海峡側と津軽海峡側の海面差によって駆動されているが、全球的な海水準の変化が日本海の流れ系をどのように変化させてきたのか海洋物理学的な見地から迫った例は少ない。堆積物コアに基づく古海洋学研究は、ある地点における時系列データを得意とする一方で、面的な広がりを議論するには多大な労力と様々な制約ゆえに限界がある。他方、物理モデルは計算機資源の制約もあり数万年に及んだ時間解像度の高い情報を得るのは難しいが、面的な海流系のシミュレーションを得意とする。こういった両者の特徴を上手く生かし補い合うことで新たな知見が得られることを期待する。本講演では、上述した問題意識の元に期待される古海洋学と海洋物理学のコラボレーションについて構想を紹介する。

キーワード：日本海、古海洋学、海洋物理学

Keywords: Japan Sea, Paleoceanography, Physical Oceanography

Reconstruction of vertical temperature structure in the East China Sea to better understand the past Kuroshio variability

*Yoshimi Kubota¹, Katsunori Kimoto², Ryuji Tada³

1. National Museum of Nature and Science, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. University of Tokyo

The East China Sea (ECS) is a marginal sea, located in western edge of the Pacific and the Kuroshio is one of the major current systems in the ECS and has a crucial impact on water properties in the ECS (Chen et al., 2010; Guo et al., 2012). Because the position of the Kuroshio in the ECS is relatively stable (standard deviation is ~10 km) compared with the outside ECS (Andres et al., 2008), it is suitable to investigate long-term variations in the Kuroshio without the consideration of meandering of the main axis. However, there has been ongoing debate about the variability of the Kuroshio in the past in the East China Sea. One argument is, like the Ryukyu Current today, the Kuroshio main axis migrated to be outside of the Okinawa Trough during the last glacial maximum (LGM)(e.g., Ujiie et al., 1991; Ujiie and Ujiie, 1999; Diekmann et al., 2008). Another argument is that the Kuroshio main axis remained located in the Okinawa Trough even at the lowest sea level stand (e.g., Kawahata and Ohshima, 2004; Lee et al., 2013). Based on a comparison of planktic foraminifera assemblages inside and outside the Okinawa Trough, Ujiie et al. (2003) advocated “outside Okinawa Trough”. Their comparison revealed the appearance of cold water species inside the Okinawa Trough during LGM, despite only minimal variation in assemblage-derived sea surface temperature (SST) outside the Okinawa Trough. However, a recent study based on comparison of Mg/Ca-derived SST records demonstrated that there was no significant difference in SST between inside and outside the Okinawa Trough, suggesting the entrance of the Kuroshio inside the Okinawa Trough during the LGM (Lee et al., 2013). Although there are many studies focusing on reconstruction of surface hydrology in the Okinawa Trough since the MIS 3 or LGM using planktic foraminifera assemblages (Li et al., 2001; Ujiie et al., 2003; Xu and Oda, 1999) and alkenon-derived SST (Ijiri et al., 2005; Yu et al., 2009), and Mg/Ca-based SST (Chen et al., 2010; Kubota et al., 2010; Sun et al., 2005), information concerning water properties at subsurface and intermediate depth is sparse, which is important as variations in the Kuroshio velocity and transport have a greater impact on temperature and salinities at subsurface and intermediate depths rather than those at surface (Oka and Kawabe, 1998). In this study, we reveal temperature structure in the Okinawa Trough since the late MIS 3 and discuss how we understand the Kuroshio variability in the past.

Keywords: Kuroshio , East China Sea , Last Glacial period