

## 植物プランクトン多様性データの総合化に向けた現状と課題

誌名	日本プランクトン学会報
ISSN	03878961
著者	千葉, 早苗 石丸, 隆
巻/号	56巻2号
掲載ページ	p. 161-165
発行年月	2009年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 植物プランクトン多様性データの総合化に向けた現状と課題 —生態系変動研究の立場から

千葉早苗<sup>1)\*</sup>・石丸 隆<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 海洋研究開発機構物質循環研究プログラム, 〒236-0001 横浜市金沢区昭和町 3173-25

<sup>2)</sup> 東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科, 〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

### Present status and future subjects for integration of phytoplankton biodiversity data—from a view point of ecosystem change study—

SANAE CHBIA<sup>1)\*</sup> AND TAKASHI ISHIMARU<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Environmental Biogeochemical Cycle Research Program, JAMSTEC, 3173-25 Showamachi, Kanazawa-ku, Yokohama, 236-0001, Japan*

<sup>2)</sup> *Faculty of Marine Science, Tokyo University of marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan*

\* Corresponding author. E-mail: chibas@jamstec.go.jp

**Abstract** Recent retrospective studies have demonstrated usefulness of community level analysis on plankton for better understanding of marine ecosystem response to climatic forcing of decadal to multi-decadal as well as anthropogenic warming trend, that could not be detected by merely analyzing biomass/abundance. In Japan, based on the seasonal time-series of diatom species composition collected by Japan Meteorological Agency, phenological change responding to warm-cool cycle of Pacific Decadal Oscillation was detected in the Oyashio and Japan Sea. In Tokyo Bay, monthly monitoring by Tokyo University of Marine Science and Technology revealed the marked change in diatom community structure from the late 1980s to 1990, responding to the changes in wintertime climatic condition. In Ariake Bay and Yatsushiro Bay, data of harmful algae bloom collected by Japan Fisheries Agency were analyzed and provided us with useful information for environmental assessment after the closure of inner part of Isahaya Bay. In the North Atlantic, through over 50 years CPR (Continuous Plankton Recorder) survey, they found a major phytoplankton shift from diatoms to dinoflagellates occurred in the mid 1980s associated with change in the North Atlantic Oscillation, which was previously reported to induce changes in zooplankton and higher trophic level productivity. All these studies proved importance of continuous monitoring and data mining on phytoplankton community in terms of climate-ecosystem link study. Nevertheless, there is no integrated open database for phytoplankton community/species composition with a few exception, e.g. Harmful Algae Bloom Programme. To construct such the integrated phytoplankton database, a rigid international framework must be established.

**Key words:** phytoplankton, diversity, database, ecosystem change study

#### はじめに

近年長期変動研究分野では、種レベルまで掘り下げた解析により、過去数十年間の十年規模気候変動や海洋環境の長期トレンドに伴う生態系の変化が次々に明らかにされてきた。特に最近50年間の温暖化傾向に伴う、暖水性種の分布域の北上といった生物地理学的変化や、生物生産のピークの早まりといった生物季節的变化に関する研究の成果は、IPCC第4次報告書(IPCC 2007)に記載され社会の注目を集めた。人間活動による生態系影響評価や、環境変化や気候変動に対する海洋生態系の

応答メカニズムを理解するためには、プランクトン生物量の変化といった量的な情報を解析するだけでは十分ではないことはいまや自明である。

そうした背景のもと、動物プランクトン種データに関しては、Census of Marine Zooplankton (CMarZ, <http://www.cmarz.org/>)に代表されるような国際レベルの情報集積やデータベースの構築が進み、また長期的に収集されてきた標本やデータに基づく生態系長期変動の海域比較研究の試みがなされて来た(Perry et al. 2004)。上記の研究成果の殆ども、動物プラ

ンクトン群集構造に基づくものである。一方、植物プランクトンに関しては同様の取り組みが遅れているようである。一因には、ホルマリン保存された過去のネット標本が多く存在し再分析/解析が可能な動物プランクトンと異なり、過去の植物プランクトン調査は基礎生産やクロロフィルの測定のみ限定され標本が保存されてこなかったことがある。また、地球環境の変化に伴う生態系変動という視点では、近年では衛星海色センサーによる観測により植物プランクトンの分布や生物量に関する広域データが高い時空間解像度で得られるようになったことも、逆説的ではあるが、種組成や多様性調査のためのモニタリングの必要性に対する関心が薄れている要因かもしれない。

しかしながら、報告されているような動物プランクトン変動の多くはボトムアップなコントロール、つまり環境変化に対する植物プランクトンの応答を介して現れる。環境から低次生態系、さらには高次生態系へと繋がる変動過程を明らかにするためには、植物プランクトンの組成変化の情報は重要であろう。例えば、沿岸域においては、特有種の生態の調査は、栄養塩のバランス変化といった、動物プランクトンのデータからは推測しがたい、人為起源の環境変化の影響を語ってくれる。

本稿では、植物プランクトン種組成データを用いた国内外の長期変動研究の例をレビューし、生態系変動研究の立場から、種レベルのデータを継続して収集・整備していくことの重要性を主張するとともに、データの統合化に向けた現状と課題について議論したい。

### 植物プランクトン長期変動研究の例

#### (気象庁の海洋観測モニタリング)

日本においては、気象庁の各海洋気象台による海洋観測モニタリングが60~70年代より年4~5回継続して実施されており ([http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/vessel\\_obs/data-report/html/ship/ship.php](http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/vessel_obs/data-report/html/ship/ship.php)) 定期観測項目として表層の珪藻が採集されてきた。採集した珪藻は種毎に細胞数を計数しており、貴重な季節・経年データを研究者に提供している。それらの種組成データに基づき、北太平洋十年変動といった大規模気候変動に応じたローカルな生態系変動の実態が明らかにされてきた。例えば、北海道沖、親潮域を含むPH観測線の70~90年代のデータからは、90年代の顕著な温暖化傾向に応じてそれまで春季に特徴的に現れた珪藻群集の出現率が冬に増加し春に減少していることがわかった (Chiba et al. 2004)。植物プランクトンの生産時季が早まったということである。この生物季節的变化は、動物プランクトンの摂餌に有利に働き、90年代の二次生産の増加に繋がったことが報告されている (Chiba et al. 2006)。

日本海におけるPM観測線においても、北太平洋十年変動による寒暖サイクルに応じて珪藻群集の季節性が変化したことが

報告されている。まず80年代の春季に、クロロフィル量が低下しているにも関わらず、珪藻の細胞数が増加していることから珪藻サイズが小型化していることが示唆された (Fig. 1a)。珪藻種組成を調べると、80年代の春季に優占したのは、小型種である *Pseudo-nitzschia* spp. を中心とした、例年同海域では栄養塩の供給量が減少する夏に多く出現する珪藻であり、この時季春季ブルームが早期に終焉し夏型の生態系構造が早く現れたことを示していた。春の栄養塩の鉛直分布を見てみると、80年

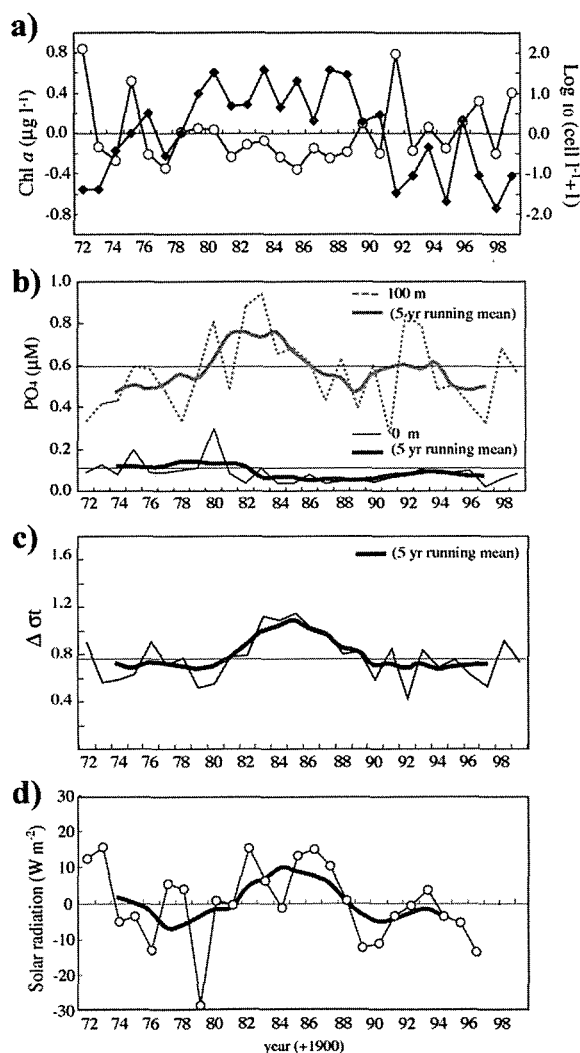


Fig. 1. Time-series of various hydrographic environments at a PM line stations (average value of the stations PM4-6) in the Japan Sea based on the springtime observation. a) Anomalies of Chl a concentration within a mixed layer (○) and cell number of diatoms (◆), b) Phosphate concentration at surface (black line) and at 100 m (gray, broken line) with respective average for 27 years (fine straight lines), c) density difference for 0-100 m deep (delta sigma-t 0-100 m:  $\Delta\sigma_t$ ), d) solar radiation. Thick lines for b)-d) indicate 5 year running means.

代には 100 m 以深で冬季混合の影響とみられる高い値が観察されたが、表面ではむしろその前後の年と比較して栄養塩濃度は著しく低下していた (Fig. 1b)。また、表層 0~100 m の密度差をみると (Fig. 1c) 80 年代春季に顕著に増加していたことから成層化が進んで栄養塩が表層へ供給されるのを妨げていたことが明らかである。成層が強化した一因としては春の日照の増加が要因であると推測されている (Fig. 1d)。1980 年代は、アリューシャン低気圧の強化などに伴い日本周辺海域は寒冷化したことが知られており、日本海でも、その時季に春季の植物・動物プランクトン生物量が顕著に減少したことから (南ら 1999)、過去の研究では、冬季の低温化や過度の鉛直混合による光不足が生物生産を抑制した主要因となつたと示唆されていた。しかし、植物プランクトンの種組成に基づく研究の結果、上記のようにこれまでの推測を覆すボトムアップな変動過程が明らかになったのである。

#### (東京海洋大の東京湾モニタリング)

東京湾では東京海洋大が毎月定点モニタリングで植物プランクトンを採集している。60 年代から 70 年代にかけての急激な都市化に伴い湾が富栄養化して以来、東京湾の冬季珪藻群集の多様性は低下し、優先種の変遷が起つたことが報告されている (Marumo & Murano, 1973)。富栄養化後の最優先種は *Skeletonema costatum* であることが知られているが (Nomura & Yoshida 1997)、1980 年代以降の珪藻組成に基づく研究によれば、東京湾の冬季の気象が経年変動するに伴い同種の優先の度合いが変化し、他種の出現率が上昇すると同時に多様性が増すことが分つた (吉田・千葉・石丸、未発表)。東京湾の環境要因を主成分分析して得た第一主成分と、*S. costatum* の経年変動を比較すると、80 年代半ばから 90 年代初めにかけて、降雨量の多い暖冬の年、つまり晴天率が高く寒冷という東京地方に特有の冬季の気象条件があてはまらない年に、同種の生物量が減少していることが分つた (Table 1 & Fig. 2a)。また、第二優先種である *Eucampia zodiacus* の生物量の経年変動は第二主成分との関係が深く、冬季の風力とその消長に影響していることが示唆された (Table 1 & Fig. 2b)。第一主成分と第二主成分の変動周期は一致せず、異なる気候フォーシングにより個々の

種が応答し、その結果として群集構造の経年変動パターンが決まることが分つた。これらの結果は、東京湾のような沿岸環境であっても、富栄養化といった直接的な人為起源環境変化の他にも、大スケールの気候フォーシングに対して生態系が応答することを示唆するものである。

#### (水産庁による九州海域の赤潮調査)

水産庁九州漁業調整事務所では、有明海、八代海において 1978 年以降、赤潮発生のモニタリングを実施しており、分類群別の出現状況に関するデータを蓄積している (公害等調査委員会 2004)。有明海では 1997 年に諫早湾の堤防が閉め切られたが、その前後の湾内の環境評価の指標として、本モニタリングの結果は重要な情報を提供してきた。例えば、80 年半ば以降湾内では、珪藻、渦鞭毛藻、ラフィド藻、繊毛虫による赤潮が、年間発生件数、年間発生期間、一件あたりの日数で、いずれも増加傾向に有るが、特に 97 年以降は *S. costatum*, *Chaetoceros* spp. に代表される珪藻による赤潮が、年間発生件数、年間発生期間において著しく増加していることが報告されている (Fig. 3)。

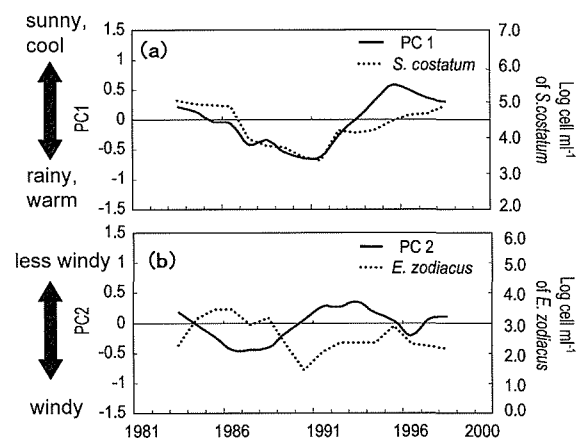


Fig. 2. Time series of (a) PC1 and abundance (log cells mL<sup>-1</sup>) of *Skeletonema costatum*, and (b) PC2 and abundance (log cells mL<sup>-1</sup>) of *Eucampia zodiacus* in Tokyo Bay, Japan. All time series are 5-year smoothed. (Yoshida, Chiba & Ishimaru, unpublished data)

Table 1. Pearson correlation coefficient: R, between interannual variation of the 1<sup>st</sup>–3<sup>rd</sup> principal components (PC1–PC3) and each environmental variables.

	PC1			PC2			PC3	
	R	P		R	P		R	P
Precipitation	-0.70	0.001	Wind speed	-0.59	0.006	Wind speed	0.528	0.017
Solar radiation	0.67	0.001	SST	0.44	n.s.	Precipitation	-0.518	0.019
SST	-0.60	0.005	Solar radiation	0.24	n.s.	SST	0.363	n.s.
SSS	0.52	0.019	Precipitation	-0.22	n.s.	SSS	0.111	n.s.
Wind speed	-0.21	n.s.	SSS	0.21	0.367	Solar radiation	-0.050	n.s.

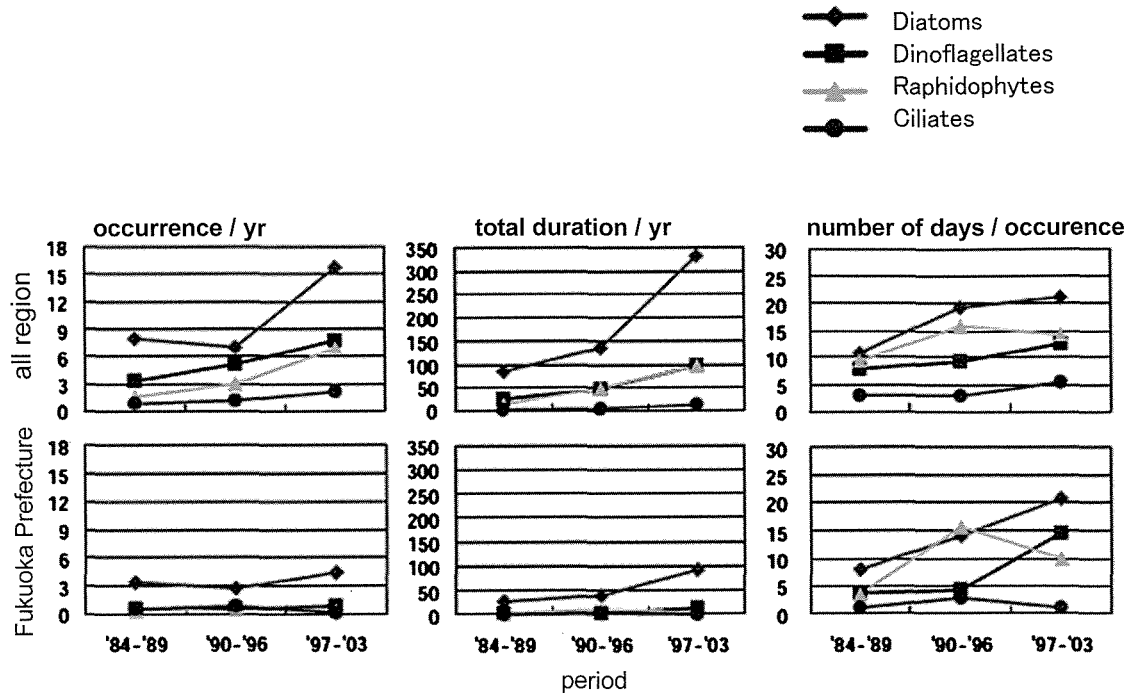


Fig. 3. Taxonomic level information on red tide plankton occurrence in Ariake Bay, Japan, from 1984 to 2003. Number of occurrence per year (left), total duration (day) per year (middle), and number of days per occurrence (right). Data for all region in Ariake Bay (upper 3 figures) and data only in Fukuoka Prefecture (lower 3 figures). (Modified from The Environmental Dispute Coordination Commission 2004).

#### (英国ハーディ研究所の CPR 調査)

英国のハーディ研究所では、1950年代より Continuous Plankton Recorder (CPR) で採集した動物/植物プランクトンの種組成データを蓄積している。東部北大西洋亜寒帯域では、最近数十年間で植物プランクトン生物量は増加傾向にあることが報告されていたが、種組成分析の結果、それは渦鞭毛藻の寄与が大きく、珪藻の出現率は長期的に減少傾向にあることがわかった (Leterme et al. 2006)。同海域の主要動物プランクトンの餌となる珪藻と異なり、渦鞭毛藻の増加は、二次生産にとって有利に働くわけではない。同海域では80年代半ばから北大西洋振動の変化に伴う動物プランクトン群集構造や高次生態系の変化や生産量の低下が相次いで報告されており (e.g. Beaugrand et al. 2002a & 2002b), 植物プランクトンの変化は気候変化にともなうボトムアップな生態系構造変化を裏付けるものである。

最近のトピックとしては、北極の海水の減少に伴い北極海を挟む大西洋と太平洋の境界が開け、北太平洋に固有であった珪藻種 *Neodenticula seminae* が大西洋に進出し始めたことが報告されている (Reid et al. 2007)。地域の固有種の生態のモニタリングは、このような地球規模の環境変化の指標として有用な情報を提供してくれる。

#### 植物プランクトンデータの統合に向けた課題

Census of Marine Life (CoML) においては、動物プランクトンの CMarZ に相当するような、植物プランクトンの多様性情報を広く収集しデータベース化するための枠組みは存在しない。植物プランクトンに関する情報は、例えば南極域や北極域といった海域プロジェクトの枠内で収集、整理されてきた。あるいは、ICES, PICES 等の国際組織の協力のもと運用されている、UNESCO/IOC の Harmful Algae Bloom Programme (HAB) といった赤潮プランクトンに特化した情報に関しては統合的なデータベース化が進んでいる (<http://ioc-unesco.org/hab/>)。

機関毎の取り組みに関しては、例えば上記ハーディ研究所の植物プランクトン種データは約200種・分類群に整理され電子化されており、登録をすればウェブサイトを通じて一部情報の入手が可能である。日本では、前述の九州海域の赤潮に関する情報が非常に良く整備され、社団法人 日本水産資源保護協会 環境情報センターによる有明海等環境情報・研究ネットワークがウェブサイト上でデータを公表しており、分類群別の過去の経年的出現状況、主要種の出現分布などの情報の他、速報、予報情報の入手が可能である (<http://ay.fish-jfrca.jp/ariake/>)。

気象庁のデータに関しては、世界の多くのプランクトン時系

列データが沿岸海域のものに限られる反面、貴重な外洋の情報を提供してくれる。しかし、現時点では印刷物として一部公開されているものの、ウェブサイトを通じたインタラクティブなデータベース化はなされていない。実際、植物プランクトンに関しては多くの国内外のデータは、東京湾モニタリングを始め、プロジェクトレベルか個人研究レベルで蓄積されており、広く研究コミュニティに向けて公開される形にはなっていないのが現状である。一方、日本の海洋観測網は世界でも類をみないほど充実しており、そのデータを地球環境変動研究の推進のために役立てる事は、海洋国としての責務でもあろう。

今後植物プランクトンのデータの統合化の実現に向けては、そのような個人レベル、研究所レベルのデータをどのように吸い上げ、まとめるかが課題になる。また、国際的なデータベース化にあたって、分類キーの確立など分類方法のスタンダード化を進めることが不可欠である。一方で種の同定の出来る研究者の減少も問題となっており、そうした人材を育成するためのワークショップ等の開催も必要となるであろう。そのためには、国際的枠組による主導がむしろ不可欠である。次期 CoML による主導を期待する。

#### 謝 辞

プランクトンを用いた生態系変動解析を実施するにあたり、長期に渡りサンプル/データの収集に携わって下さった多くの研究機関、調査船、篤志船舶の乗組員、研究員の方々のご尽力に深くお礼申し上げます。

#### 引用文献

- Beaugrand, G., F. Ibanez, J. A. Lindley & P. C. Reid 2002a. Diversity of calanoid copepods in the North Atlantic and adjacent seas: species associations and biogeography. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **232**: 179-195.
- Beaugrand, G., P. C. Reid, F. Ibanez, J. A. Lindley & M. Edwards 2002b. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science* **296**: 1692-1694.
- Chiba, S. & T. Saino 2002. Interdecadal change in the upper water column environment and spring diatom community structure in the Japan Sea: an early summer hypothesis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **231**: 23-35.
- Chiba, S., T. Ono, K. Tadokoro, T. Midorikawa & T. Saino 2004. Increased stratification and decreased lower trophic level productivity in the western subarctic North Pacific—a 30 years retrospective study—. *J. Oceanogr.* **60**: 149-162.
- Chiba, S., K. Tadokoro, H. Sugisaki & T. Saino 2006. Effects of decadal climate change on zooplankton over the last 50 years in the western North Pacific. *Global Change Biol.* **12**: 907-920.
- IPCC 2007 *Climate Change 2007—Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Parry, M., O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden & C. Hanson), Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp.
- 公害等調整委員会 2004. 有明海における干拓事業漁業被害原因裁定申請事件専門委員報告書, 136 pp.
- Leterme, S. C., L. Seuront & M. Edwards 2006. Differential contribution of diatoms and dinoflagellates to phytoplankton biomass in the NE Atlantic Ocean and the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **312**: 57-65.
- 南 秀人・川江 訓・永井直樹・地福淳一 1999. 日本海 PM 線の長期変動. 測候時報, **66**: 63-80.
- Nomura, H. & M. Yoshida 1997. Recent occurrence of phytoplankton in the hyper-eutrophicated inlet, Tokyo Bay, central Japan. *La Mer* **35**: 107-121 (in Japanese with English abstract).
- Perry, R. I., H. P. Batchelder, D. L. Mackas, S. Chiba, E. Durbin, W. Greve & H. M. Verheye 2004. Identifying global synchronies in marine zooplankton populations: issues and opportunities. *ICES J. Mar. Sci.* **61**: 445-456.
- Reid, P. C., D. G. Johns, M. Edwards, M. Starr, M. Poulin & P. Snoeijis 2007. A biological consequence of reducing Arctic ice cover: arrival of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the North Atlantic for the first time in 800,000 years. *Global Change Biol.* **13**: 1910-1921.