

平成21年 6月 30日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～ 2008
 課題番号：18380121
 研究課題名（和文）長期動物プランクトンデータを用いた海洋生態系の地球規模変動機構の解明
 研究課題名（英文）Study on the global scale changes in marine ecosystems based on the historically collected zooplankton data.

研究代表者
 千葉 早苗 (CHIBA SANAÉ)
 独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター・主任研究員
 研究者番号：40360755

研究成果の概要：

国際協力を通じ、動物プランクトン等の安定同位体比を用いて、北太平洋全域における気候変動に対する海洋生態系の経年変動メカニズムについて研究し、気候のフォーシングに対する生態系の応答が海域毎に異なることを明らかにした。親潮域においては、十年規模の気候の寒暖サイクルが海洋環境や低次生物生産量を変化させ、高次生物生産にまで影響を与えるメカニズムが明らかになった。これらの成果から、長期動物プランクトン試料の安定同位体比が海洋環境変動の指標として使用できる可能性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,500,000	0	6,500,000
2007年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
総計	15,600,000	2,730,000	18,330,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：プランクトン、長期変動、海洋生態系、オダテコレクション

1. 研究開始当初の背景

近年世界の各海域において十年～数十年規模の気候変動と海洋生態系への影響について多くの研究が進められてきた。しかし気候インデックスと物理環境、生物量の時系列には有意な相関が見いだされるものの、生態系変動のメカニズムには不明の点が多い。また、海盆から地球規模の海洋生態系変動メカニズムを把握するためには、海域毎に蓄積された知見を、比較研究に基づき統合的に解析すること、及びそのための手法の確立が次の課題として求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(1) 我が国周辺で過去50年にわたり収集された長期動物プランクトン標本を詳細に解析することにより、海洋低

次生態系変動メカニズム解明のための手法を見だし、(2) 国際協力を通じて同手法を他海域に応用することにより海域比較研究を可能にすることにある。特に動物プランクトンの窒素及び炭素の安定同位体比と海洋環境変動の関係に着目し、比較研究のための共通指標として利用するための手法の確立に主眼を置く。

3. 研究の方法

(1) 親潮域低次生態系の長期変動

西部北太平洋における低次生態系の十年規模変動の要因を明らかにするために、親潮域で過去50年間に採集された東北水産研究所保有の動物プランクトン標本(Odate Collection)を用い、主要カイアシ類4種(*Neocalanus christatus*, *N. flemingeri*, *N.*

plumchrus, *Eucalanus bungii*)のコペポダイト5期について安定同位体比を測定した。長期サンプルはすべてホルマリン保存されているため、ホルマリン固定化でも安定した値が得られる窒素安定同位体比 $\delta^{15}\text{N}$ のみを用いた。また、その結果を海洋環境及び植物プランクトン生物量の時系列と比較した。また、北海道区水産研究所等の協力を得てカラフトマスの鱗の長期サンプルを入手し、 $\delta^{15}\text{N}$ を測定することにより、低次生態系と高次生態系の経年変化のリンクを調べた。

(2) 現場観測に基づく海洋環境と動物プランクトンの安定同位体比の関係

海洋環境や植物プランクトンの量・質的变化に応じて動物プランクトンの安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) がどのように変化するかを詳細に調べるため、H19年度に3~7月に東北水産研究所の親潮域定線観測において動物プランクトン、植物プランクトンの標本を採取し $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ を測定した。有光層内(10-30m)の懸濁粒子の大部分は植物プランクトンで構成されることから、懸濁有機物(POM)の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ を植物プランクトンのものとみなした。また、植物プランクトンの種組成分析を行った。

(3) 国際協力に基づく海域比較研究

北太平洋亜寒帯域に広く分布する *Neocalanus* 3種をターゲットに、北海道大学、カナダ海洋漁業省の協力にもとづき西部、中央、東部北太平洋域亜寒帯域で経年にわたり採集された同種標本の $\delta^{15}\text{N}$ を測定し、その経年変動と、気候、海洋環境との関係を比較した。

(4) 陸域/海洋生態系長期変動の比較研究

本サブ課題は研究開始当初には予定していなかったが、(1)で用いたカラフトマスの鱗サンプルに加え、バイカル湖のサケ科魚類のデータを入手する機会があり、研究をさらに多角的に発展させるために実施した。西部北太平洋とバイカル湖で過去50年間に採集したサケ科魚類の鱗の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ の時系列データを用いて、海洋と陸域の生態系の長期変動を比較研究した。

4. 研究成果

(1) 親潮域低次生態系の長期変動

[動物プランクトン $\delta^{15}\text{N}$ の長期変動]

親潮域の *Neocalanus* 3種の $\delta^{15}\text{N}$ の長期変動を調べた結果、90年代の温暖期における低下が明らかになった(図1)。一方90年代以降親潮域では同プランクトン種の現存量が増加していた(図1)。*E. bungii* も、同様90年代に $\delta^{15}\text{N}$ は顕著な低下を示す一方生物量は

増加していた。よって、動物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ の低下の要因として、海洋環境の変化が基礎生産の量的・質的变化をもたらし、食物網を通じて二次生産全体に影響を与えたことが示唆された。またカラフトマス鱗の $\delta^{15}\text{N}$ も90年代に同様に低下している一方漁獲高は増加しており、低次生態系の変化が高次生産にも影響を与えていたことが示唆された。

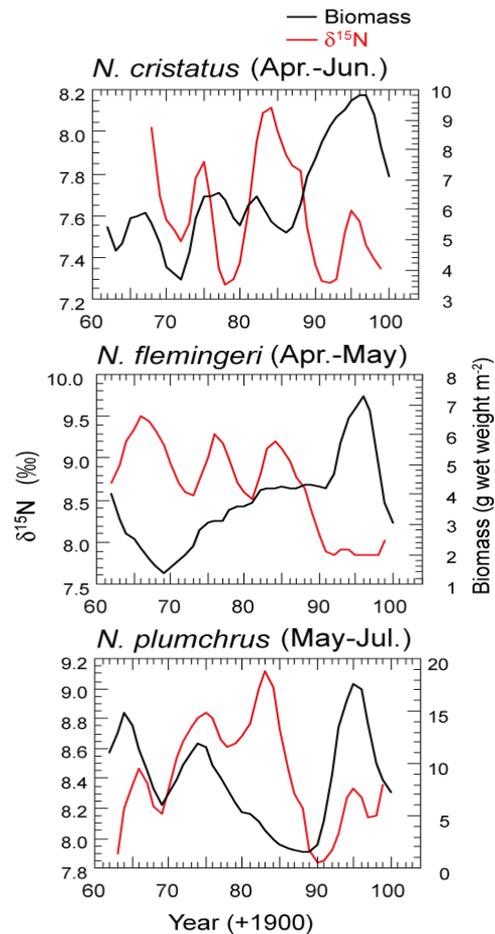


図1 *Neocalanus* 3種の $\delta^{15}\text{N}$ (赤線) 及び生物量(黒線)の長期変動

親潮域では、60年代以降中層の栄養塩濃度が増加する一方で表層の濃度が低下しており、成層の強化に伴う表層への栄養塩の供給量減少が考えられた(図2)。同時にここ数十年の間に、春季植物プランクトンブルームの規模が縮小し、年間の基礎生産量は70年代半ば以降減少傾向にあることが報告されている。本研究の結果は、それにもかかわらず90年代に二次生産が増加したことを示している。要因として、冬季成層の強化に伴い植物プランクトンの生産時季が早くなったことが動物プランクトンの摂餌や生産に有利に影響したことが推測された。

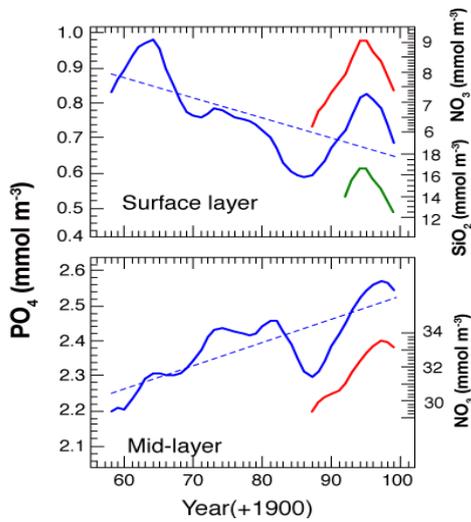


図2 親潮域の表層（上）と中層（16.7-26.8 σ_θ の平均値）（下）の栄養塩の長期変動（5年移動平均）。リン酸塩（青線）、硝酸塩（赤線）、ケイ酸塩（緑線）。青の破線はリン酸塩の有意なトレンドを示す。

〔 $\delta^{15}\text{N}$ の季節変動の種間比較〕

Neocalanus と *Eucalanus bungii* の $\delta^{15}\text{N}$ 及び生物量の季節／長期変動パターンを種間比較をした。月毎の長期変動パターンを見ると、全ての種において4月から7月にかけて $\delta^{15}\text{N}$ が上昇傾向にあった（図3）。4種はいずれも基本的には植食性のカイアシ類であるが、微小動物プランクトン等を含む雑食の度合いは種の値が高くなることから、この結果はブルームの終焉とともに4種が植食性から雑食性へと食性をスイッチしたことを示唆している。また、4種のうち、もっとも季節的变化が顕著だったのは、*E. bungii* であった。この結果は、同種が春季に珪藻への依存度が極めて高いことを示唆しており、種毎の摂餌生態の違いを反映している。

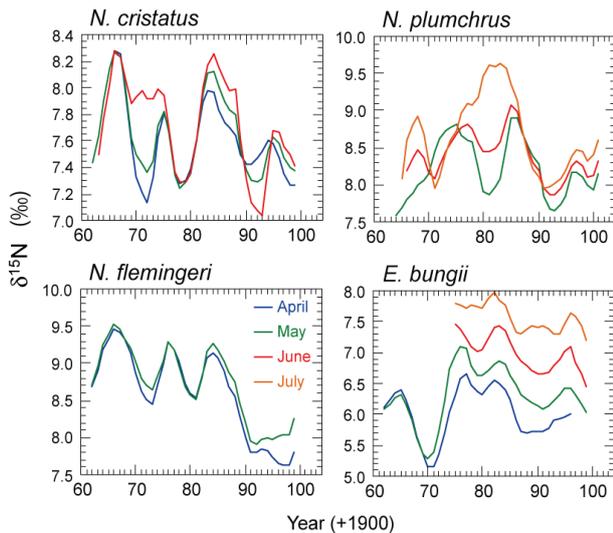


図3 親潮域の *Neocalanus* 属カイアシ類3種および *E. bungii* の月平均 $\delta^{15}\text{N}$ 濃度(‰)の長期変動（5年移動平均）。

(2) 現場観測に基づく海洋環境と動植物プランクトンの安定同位体比の関係

観測期間中、表層クロロフィル濃度は3月の0.3 mg m^{-3} から4-5月のブルームの形成に伴い18 mg m^{-3} に達しその後減少し7月には0.3 mg m^{-3} を示した。POMの $\delta^{13}\text{C}$ は5 mg m^{-3} 以下で強い正の相関が見られそれ以上の濃度では減少傾向が見られた（図4）。

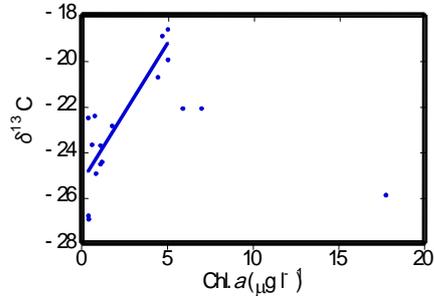


図4 表層クロロフィル濃度と $\delta^{13}\text{C}$ との関係。青字が親潮データ。

植物プランクトンの群集組成を見ると、クロロフィル濃度の増加に伴い細胞サイズが10 μm 以上の大型植物プランクトンが占める割合が増加し、反対にサイズの小型のピコプランクトンの占める割合は減少した（図5 ab）。顕微鏡による計数の結果、クロロフィル濃度の増加に伴い珪藻類の細胞数の増加が見られ（図5 c）、4-5月にかけて珪藻類の大規模なブルーム形成が確認された。

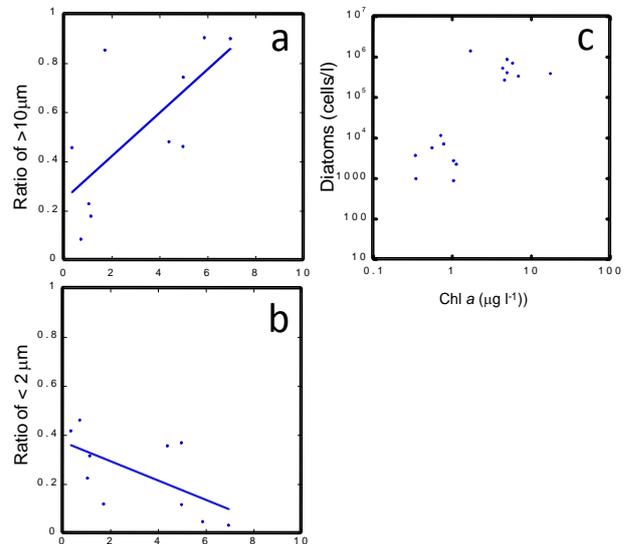


図5 親潮域の表層クロロフィル濃度と植物プランクトン組成の関係。a) 10 μm 以上の種の占める割合、b) 2 μm 以下の種の占める割合、c) 珪藻の細胞数。

有光層内(10-30m)の懸濁粒子の炭素と $\delta^{15}\text{N}$ と海洋環境の関係を見ると、硝酸塩濃度と負の相関、水温とは正の相関が見られた（図

6)。このメカニズムとして、春から夏にかけての水温の上昇に伴う成層化と、植物プランクトン(主に珪藻類)の硝酸塩の消費による水中の硝酸塩濃度の減少により、水中の $\delta^{15}\text{N}$ が増加し、植物プランクトンの窒素同化における同位体分別が低下したことが示唆された。

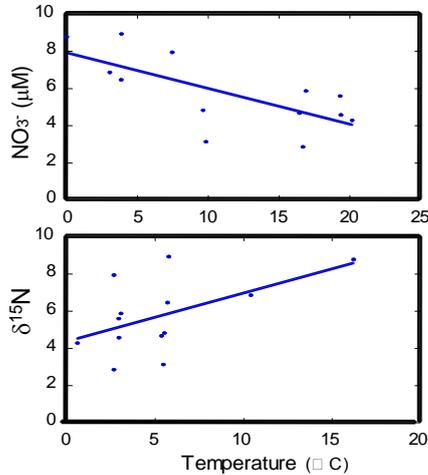


図6 親潮域の、水温と表層の硝酸塩濃度(上)、水温とPOMの $\delta^{15}\text{N}$ (下)との関係。

植物プランクトンと動物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ には有意な正の相関があった。この結果から(1)の長期変動解析で見られた動物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ および生物量の経年変動が、海域の栄養塩の供給量及び植物プランクトン生産の変動を反映しているものであり、ボトムアップな変動メカニズムが機能していることが推測された。

(1) および(2)の結果は、動物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ の変化が、周囲の植物プランクトンの生物量変化の指標となることを示すものである。

(3) 国際協力に基づく海域比較研究

北太平洋亜寒帯域の、東西及び中央海域において比較研究を実施した結果、*Neocalanus*の $\delta^{15}\text{N}$ が、栄養塩が豊富な海域では低く、栄養塩の乏しい海域では高いという地理分布があることが分った(図7)。経年変動解析の結果からは海域により異なるメカニズムで $\delta^{15}\text{N}$ が変化していることが示唆された。すなわち、西部海域および中央部の高緯度域では植物プランクトンの生産が低い寒冷年に $\delta^{15}\text{N}$ が高くなる傾向が有り、光制限による食物網の変化を反映していることが考えられた一方で、東部海域および中央部の低緯度海域では、南方からの貧栄養な水の影響がある温暖期に $\delta^{15}\text{N}$ が高くなる傾向が分り、栄養塩制限による食物網の変化を反映していることが示唆された。

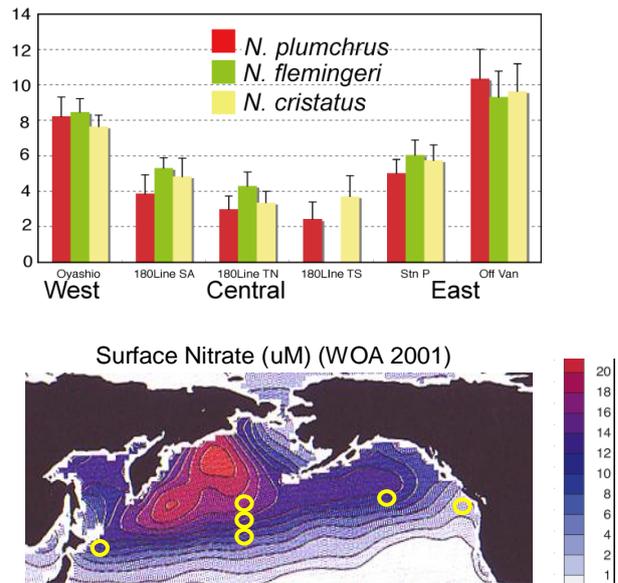


図7 西部、中央、東部北太平洋亜寒帯域で採集された*Neocalanus*3種の $\delta^{15}\text{N}$ の海域比較(上)。北太平洋の表面硝酸塩濃度分布(下)黄丸は*Neocalanus*の採集海域を示す。

また本課題を通じて、PICES(北太平洋海洋科学機関)や、SCOR(Scientific Committee of Ocean Research)関連の国際会議に出席し、各海域で長期動物プランクトンデータを有する研究者と研究協力について協議し、安定同位体比を用いた海域比較研究の実施について提案した。

(4) 陸域/海洋生態系の長期変動の比較研究
西部北太平洋とバイカル湖サケ科魚類の鱗の $\delta^{15}\text{N}$ の変化に強い相関が見いだされ、水系として完全に独立している両者の生態系構造が十年規模で同期して起っていることが示唆された(図8)。特に70年代半ば~80年代の冬季季節風の強い期間に高い値が見られ、共通の気候フォーシングの影響が考えられた。陸域と海洋の生態系変動を統合的に扱った研究はあまり例がなく興味深い結果となった。

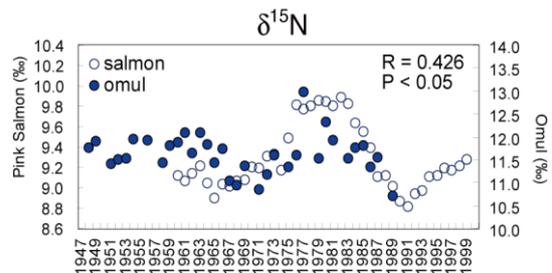


図8 西部北太平洋のカラフトマス(白丸)とバイカル湖のオームル(青丸)の鱗の $\delta^{15}\text{N}$ の長期変動比較(12年移動平均)。

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 12 件)

- ① Chiba S, Sugisaki H, Nonaka M, Saino T. Geographical shift of zooplankton communities and decadal dynamics of the Kuroshio-Oyashio Currents in the western North Pacific. *Global Change Biology*. doi:10.1111/j.1365-2486 (2009). 査読有
- ② Tadokoro K., Ono T, Yasuda I., Osafune S, Shiimoto A, Sugisaki H. Possible mechanisms of decadal scale variation in PO₄ concentration in the western North Pacific. *Geophysical Research Letters*. doi:1029/2009GLO037327 (2009). 査読有
- ③ 千葉早苗. 気候のレジームシフトと海洋低次生態系の応答過程, 月間海洋, 印刷中(2009). 査読無
- ④ Chiba S, Aita NM, Tadokoro K, Saino T, Sugisaki H, Nakata K. From climate regime shifts to plankton phenology: synthesis of recent progress in retrospective studies of the western North Pacific. *Progress in Oceanography*. 77, 112-126 (2008). 査読有
- ⑤ Yatsu A, Aydin KY, King JR, McFarlane GA, Chiba S, Tadokoro K et al. Mechanisms of fish population dynamics to climatic forcing: comparative study on selected stocks representing five life-history strategies in the North Pacific. *Progress in Oceanography*. 77, 252-268 (2008). 査読有
- ⑥ Watanabe Y. W.; Shigemitsu M.; Tadokoro K. Evidence of a change in oceanic fixed nitrogen with decadal climate change in the North Pacific subpolar region. *Geophysical Research Letters*. 35, L0160210.1029/2007GL032188 (2008). 査読有
- ⑦ Johnson T et al, (7 番目 Sugisaki H). Chaetognaths in the diet of Pacific saury (*Colorabis saira*) in the northwestern Pacific Ocean. *Coastal Marine Science*. 32, 39-47 (2008). 査読有
- ⑧ Takahashi K, Kuwata A et al. Grazing impact of the copepod community in the Oyashio region of the western subarctic Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*. 78, 222-240 (2008). 査読有
- ⑨ Chiba S. Global warming and the marine ecosystem -Warning from marine life. *OPRT Newsletter International*. 17, 1-2 (2007). 査読無
- ⑩ Chiba S, Sugisaki H. Long-term spatio-temporal variation of copepod community in the western North Pacific and influences of the North Pacific Decadal Oscillation. *GLOBEC International Newsletter*. 12/1, 63-64 (2006). 査読無
- ⑪ Sugisaki H. Studies on long-term variation of ocean ecosystem/climate interactions based on the Odate collection: introduction of the Odate project and zooplankton monitoring activities of Japanese institutes. *GLOBEC International Newsletter*, 12/2, 49-51 (2006). 査読無
- ⑫ Sugisaki H. Changes of biogeochemical cycle in the ocean. *Ocean Basin – The textbook for sixteenth IHP Training Course in 2006-*. 115-125 (2006). 査読無

[学会発表] (計 10 件)

- ① 田所和明. 親潮域における *Neocalanus* 属カイアン類 3 種の体長の長期変動. 2008 年度水産海洋学会研究発表大会. 2008.11.12. 東京大学.
- ② Tadokoro K. The Effects of Anthropogenic Global Warming on the Marine Ecosystem. *PICES Annual Meeting*. 2008.10.30. Dalian, China.
- ③ 桑田 晃. 海洋生態系を支える小さな生産者: 珪藻の生理生態学. 日本植物学会第 72 回大会. 2008.9.26. 高知大学
- ④ Chiba S. Anyway the wind blows... Scenario from climate to the lower trophic levels in the western North Pacific. *Effects of Climate Change on the World's Oceans*. 2008.5.21. Gijon, Spain.
- ⑤ Tadokoro K. Possible mechanism of decadal-scale variation in PO₄ concentration in the western north Pacific, and the influence to the ocean productivity. *Effects of Climate Change on the World's Oceans*. 2008.5.20. Gijon, Spain.
- ⑥ Chiba S. Pan-North Pacific synthesis of long-term variation of *Neocalanus* spp. based on the stable isotope analysis (SCOR WG125 contribution). *Effects of Climate Change on the World's Oceans*. 2008.5.18. Gijon, Spain.
- ⑦ 千葉早苗, 海洋低次生態系長期変動パターン地球規模比較, 日本海洋学会シンポジウム「レジーム・シフト研究の歴史と現状および今後の課題」, 2008.3.30, 東京海洋大学
- ⑧ Chiba S in decadal variation of oceanic and terrestrial ecosystems: comparative study of the subarctic North Pacific and Lake Baikal. *ASLO 2008 Ocean Science Meeting*. 2008.3.4. Orland, Florida, USA.
- ⑨ Tadokoro K. Decadal scale variations in developmental timing of *Neocalanus*

copepod populations in the Oyashio waters,
western North Pacific. 16th PICES Annual
Meeting. 2007.11.23. Victoria, Canada.

- ⑩ Chiba S. Transformation of zooplankton
community in the western North Pacific with
warming condition after the 1990s. 4th
International Zooplankton Production
Symposium. 2007.5.28. Hiroshima, Japan.

[図書] (計2件)

- ① 杉崎宏哉. 単行本：レジームシフト（川崎
健他編）成山堂書店「水産研究所動物プ
ラクトン長期変動データから読み取る
レジームシフト」. 2007, P.216.
② 田所和明. 単行本：レジームシフト（川
崎健他編）成山堂書店「レジームシフ
ト理論と生物資源管理」. 2007. P.216.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千葉 早苗 (CHIBA SANAE)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
フロンティア研究センター・主任研究員
研究者番号：40360755

(2) 研究分担者

杉崎 宏哉 (SUGISAKI HIROYA)
独立行政法人水産総合研究センター・中央水産
研究所・室長
研究者番号：50371795

桑田 晃 (KUWATA AKIRA)
独立行政法人水産総合研究センター・東北区水
産研究所・主任研究員
研究者番号：40371794

田所 和明 (TADOKORO KAZUAKI)
独立行政法人水産総合研究センター・東北区水
産研究所・研究員
研究者番号：70399575