

## Journal of Oceanography Vol. 65 (2009)

### 和文要旨

#### Number 1

##### Mixed layer depth climatology of the North Pacific based on Argo observations

Yuko Ohno, Naoto Iwasaka, Fumiaki Kobashi, and Yoshiko Sato, 1–16.

アルゴ観測に基づく北太平洋海洋混合層深度の気候値

大野 祐子, 岩坂 直人, 小橋 史明, 佐藤 淑子

北太平洋の海洋混合層深度の月平均気候値を, アルゴ観測を用いて作成した。アルゴデータのために最適な混合層深度決定手法と閾値は統計的な方法で求めた。その手法と閾値を用いて個々の密度プロファイルから混合層深度および混合層内の各量を算出した。混合層深度月平均気候値は各  $2^\circ \times 2^\circ$  格子で求めた。各格子で計算に用いたプロファイル数は 30 以上である。冬季の気候値では, 混合層深度が 200 m 以上に及ぶ領域が黒潮統流の南北に分かれてそれぞれ東西に帯状に広がるのが認められる。この二つの深い冬季混合層帯は, 過去のいくつかの混合層深度の気候値では必ずしも明瞭には認められなかった。北緯  $20 \sim 30$  度帯で冬季の混合層が他の海域より早く浅くなり始めることが過去の研究で指摘されていたが, このことは本研究の気候値でも確認された。混合層深度と混合層内密度の季節変化を調べた結果, 中緯度の, 特に, 西部で混合層内の密度が最大になる時期より約 1 か月前に混合層深度が最大になる傾向にあること, それに対してより高緯度では混合層深度最大となる時期が密度最大の時期とほぼ一致する傾向にある, ということが明らかになった。

##### Effect of the along-strait wind on the volume transport through the Tsushima/Korea Strait in September

Jae-Hong Moon, Naoki Hirose, Jong-Hwan Yoon, and Ig-Chan Pang, 17–29.

北東風によって減少する 9 月の対馬海峡通過流量

文在洪, 広瀬 直毅, 尹宗煥, 方益燦

最近の研究によれば, 対馬海峡の流量は夏と秋に極大を示し, 9 月に減少するパターンを示す。対馬海峡付近の風パターンは夏季に弱い南東風で秋季 (9 月) に強い北東風に変

化する。このような風パターンは, 9 月に東シナ海を通過する台風と関連する。したがってこの研究では 3 次元数値モデルを使って, 対馬海峡の 9 月の流量減少に対する北東風の影響を調査した。モデル流量は観測された対馬海峡の流量変化をよく再現し, 9 月の流量減少が主に強い北東風によって発生することがわかった。この北東風によって韓国沿岸の海水面が上昇し, 海峡を通過する流れは地衡流バランスを形成する。局所的な風に対する感度実験の結果, 9 月の流量減少は海峡を横切る地衡流バランスと海峡に沿う非地衡流バランスの関係によって決定づけられることがわかった。

##### Subinertial and seasonal variations in the Soya Warm Current revealed by HF ocean radars, coastal tide gauges, and bottom-mounted ADCP

Naoto Ebuchi, Yasushi Fukamachi, Kay I. Ohshima, and Masaaki Wakatsuchi, 31–43.

短波海洋レーダー, 沿岸潮位計, 海底設置超音波流速計で観測した宗谷暖流の季節変動および短周期変動

江淵 直人, 深町 康, 大島 慶一郎, 若土 正暁

宗谷暖流の季節変動および短周期変動について, 短波海洋レーダー, 沿岸潮位計, 海底設置超音波流速計の観測データを用いて調べた。短波海洋レーダーは宗谷暖流の表面流速場の季節変動を明確に捉えていた。2003 年 8 月から 2007 年 3 月の期間にわたってほぼ同じ季節サイクルが繰り返されていることが示された。また, 5 ~ 20 日の時間スケールを持つ短周期変動が宗谷暖流に存在することも明らかとなった。この短周期変動はこの海域の海上風応力の南北成分と有意な相関があることが示された。稚内と網走の水位差および表面流速場の短周期変動は海上風の変動から 1 ~ 2 日位相が遅れることも示された。以上の結果から, 海上風によって励起されサハリン東岸および北海道西岸を伝搬する沿岸捕捉波によって生じる水位差がこの宗谷暖流の短周期変動の発生メカニズムであることが示唆された。

##### Modification of SAR spectra associated with surface wind fields in the sea off the Kii Peninsula: A case study

Jian Sun and Hiroshi Kawamura, 45–52.

紀伊半島沖海域における海上風による SAR スペクトル変形に関する事例研究

Jian Sun, 川村 宏

合成開口レーダー (SAR) の画像モードデータから導出された表面波パラメータと高解像度海上風場を用いて, SAR スペクトルの変形について調べた。紀伊半島沖の海域を映した欧州リモートセンシング衛星 (ERS) の SAR 画像内に, 強風域と弱風域を分ける海上風フロントが紀伊山脈の遮蔽効果によって形成されているのを発見した。SAR 画像の海域部分のすべてに, 西に向かって進行するうねりが卓越している。SAR スペクトルから求められたその波長は, 遮蔽域では, 非遮蔽域のそれよりもより長い。表面波パラメータと海上風速の分布の間に良い相関があるので, SAR スペクトルは遮蔽域と非遮蔽域の海上風によって, 異なった変形を受けていると考えられた。SAR 画像上に観測された現象を調べるため, SAR 海上風, 風波スペクトル・モデルそして SAR 波浪映像モデルを用いて, 風波 SAR スペクトルを推定した。この際, うねりと関係する SAR スペクトルは SAR 画像内で一様であり, 風波に關係する SAR スペクトルの成分が観測された SAR スペクトルの変形を引き起こす, と仮定した。遮蔽域と非遮蔽域において, 観測された SAR スペクトルと推定された SAR スペクトルは互いによく一致した。今回見つかったケースについて, 観測された SAR スペクトルは風波 SAR スペクトルとうねり SAR スペクトルの線形合成として扱える, と結論できる。

### The Southern Annular Mode and opposite-phased basin mode of the Southern Ocean circulation

Yuji Iijima, Shigeru Aoki, and Kunio Kutsuwada, 53–60.

南極環状モードと南大洋海洋循環の逆位相海盆モード変動  
飯島 裕司, 青木 茂, 轡田 邦夫

衛星観測から求めた海上風格子データを南大洋上において EOF 解析したところ, 南極環状モードの変動と太平洋域に波列パターンを持つ Pacific South American パターンの二つが支配的であった。特に前者の変動における渦度の空間分布は, 振幅の大きいペーリグハウゼン海盆上とオーストラリア南極海盆上との間で逆位相の関係を示し, その変動は季節内から 1 年の周期帯で卓越している。衛星高度計から得られた季節内周期帯における海盆スケールの海面高度偏差もまた二つの海盆上で同様な逆位相の関係をもち, 季節内周期帯における海上風の南極環状モード的変動と統計的に有意な相関関係を示した。この海面高度偏差は, 海上風の南極環状モード

的変動に対する単純な順応応答によってほぼ説明され, 海上風の南極環状モードが, 南大洋海洋循環の逆位相海盆モードを駆動させる上で重要な役割を持つことが明らかになった。

### Seasonal variation of horizontal material transport through the eastern channel of the Tsushima Straits

Akihiko Morimoto, Tetsutaro Takikawa, Goh Onitsuka, Atsushi Watanabe, Masatoshi Moku, and Tetsuo Yanagi, 61–71.

対馬海峡東水道を通過する水平物質輸送量の季節変化  
森本 昭彦, 滝川 哲太郎, 鬼塚 剛, 渡邊 敦, 空 雅利, 柳 哲雄

対馬海峡東水道を通過する熱, 淡水, クロロフィル a, 溶存態無機窒素 (DIN) と溶存態無機リン (DIP) の水平輸送量の季節変化を明らかにするため, 対馬海峡において 10 回の海洋観測を実施した。本研究で得られた対馬暖流流量, 淡水・熱輸送量は過去の研究結果で得られたそれらとほぼ同じであった。対馬海峡東水道を通過する年平均の DIN と DIP 輸送量はそれぞれ  $3.59 \text{ kmol s}^{-1}$ ,  $0.29 \text{ kmol s}^{-1}$  であり, それらは長江や台湾海峡における輸送量に比べ多い。栄養塩輸送量は 7–8 月と 10 月に多く, 4 月と 11 月に少ない。7–8 月と 10 月の栄養塩輸送量の増加は対馬海峡東水道の底層に現れる低温・高塩分水塊によるものである。対馬海峡東水道を通過する 1 年間の DIN 輸送量の 2/3 を占める夏季と秋季の DIN 輸送量の変化は, 対馬暖流域の窒素収支や生物生産に大きな影響を与えていると考えられる。

### Quasiperiodic small meanders of the Kuroshio off Cape Ashizuri and their inter-annual modulation caused by quasiperiodic arrivals of mesoscale eddies

Motohiko Kashima, Shin-ichi Ito, Kaoru Ichikawa, Shiro Imawaki, Shin-ichiro Umatani, Hiroshi Uchida, and Takashi Setou, 73–80.

中規模渦の準周期的な到来によって発生する足摺岬沖黒潮の準周期的小蛇行とその変調

鹿島 基彦, 伊藤 進一, 市川 香, 今脇 資郎, 馬谷 紳一郎, 内田 裕, 瀬藤 聡

小蛇行の通過による 100–110 日の準周期的な足摺岬沖の黒潮流路の変動が, 1993–1995 年の係留流速計観測によって発見された。9 年間分の TOPEX/POSEIDON 高度計データは, この準周期的な変動は永続的な物ではなく, 期間中に 2 度変調したことを示していた。約 110 日周期が 1993 年中盤から 1996 後半にかけて, 約 150 日周期が 1996 から 1999 中盤にかけて, ふたたび約 110 日周期が 1999 中盤から 2001

後半にかけて出現した。27–32°N 帯を黒潮続流域から伝搬する中規模渦は、黒潮と時期を同じくして約 110 もしくは、約 150 日周期で準周期的に到来していた。中規模渦の準周期的な到来によって、黒潮流路の準周期的変動と、その経年的な変動は引き起こされていた。

#### 短報

##### An estimation of the average lifetime of the latest model of APEX floats

Taiyo Kobayashi, Brian A. King, and Nobuyuki Shikama, 81–89.

##### 最新型 APEX フロートの平均寿命の推定

小林 大洋, Brian A. King, 四竈 信行

アルゴ計画にとって、フロートの平均稼働期間(平均寿命)の推定は非常に重要である。しかしながら、海洋で実際に運用した場合のフロートの平均寿命は、現在まで不明である。本研究では、世界中で広く用いられている APEX 型フロート(アルカリ電池搭載)の「最新型」について、アルゴの標準的な観測スキームを用いた場合の平均寿命を推定する。本研究で用いた手法は、現在稼働中のフロートや、すでに改良が施されたため最新型では発生することのない「過去の故障」で死亡したフロートをも正しく取り扱うことができる。フロートの死亡原因について詳細な解析がなされており、その情報が利用可能な、海洋研究開発機構(JAMSTEC)で運用中の APEX 型フロート(571 本; 2008 年 5 月 7 日現在)の事例を解析した結果、最新型 APEX の平均寿命は 134.6 (127.6 ~ 141.5) プロファイル, 10 日サイクルとして 3.7 年と推定された。この値に基づく、3,000 本のアルゴフロートによる観測網を維持するためには、年間 813 (773 ~ 859) 本の APEX 型フロートの展開が必要となる。また、フロートのハード仕様の変更(リチウム電池を搭載)や、観測スキームの変更(観測深度を浅くする・深層観測の頻度を下げる)などにより、平均寿命の延長も可能であろう。

### Special Section: Fisheries and Oceanography of the East China Sea

#### Habitat suitability index of Chub Mackerel (*Scomber japonicus*) from July to September in the East China Sea

Xinjun Chen, Gang Li, Bo Feng, and Siqian Tian, 93–102.

東シナ海における 7~9 月のマサバ (*Scomber Japonicus*) のハビタット適正指数 (Habitat Suitability Index)

東シナ海におけるマサバ (*Scomber Japonicus*) の生息環境条件は、その漁獲量が大きく年変動することから、最近の 10 年間で注目される主題となっている。例えば、中国における灯光利用の旋網の漁業は、2006 年に 17,000 トンであったのに対して、1999 年は 84,000 トンを記録している。このような漁獲量の変化は生息環境の変動性に起因している。ハビタット適正指数 (HSI, Habitat Suitability Index) モデルは、対象魚種の生息環境ならびにその漁場予測を説明するために汎用されている。本研究では、漁獲データと人工衛星から得られる環境変数を用いて、東シナ海における 7~9 月のマサバのハビタット適正指数を明らかにする。総漁獲量の 90% 以上を占めるのは、表層水温 28.0~29.4°C, 表層塩分 33.6~34.2, クロロフィル a 濃度 0.15~0.50 mg m<sup>-3</sup>, 海面高度 -0.1~1.1 m から構成される海域であった。HSI の四つの簡易モデルのうち、算術平均モデル (AMM, Arithmetic Mean Model) は赤池情報量基準 (Akaike Information Criterion) に最も適合していた。2004 年の AMM に基づいた推定値を基準とすると、123°–125°E, 27°30'–28°00'N の海域における毎月の HIS は、7~9 月の間 0.6 以上となり、この時期の漁獲量の分布とよく一致した。このことは、AMM を用いることにより東シナ海におけるマサバの生息地において信頼性の高い予測が可能であること示唆している。

#### Molecular ecological study of *Siganus spinus* and *S. guttatus* from Okinawan waters based on mitochondrial DNA control region sequences

Kensuke Iwamoto, Akihiro Takemura, Tetsuo Yoshino, and Hideyuki Imai, 103–112.

ミトコンドリア DNA 調節領域の塩基配列分析による沖縄産アミアイゴとゴマアイゴの分子生態学的研究  
岩本 健輔, 竹村 明洋, 吉野 哲夫, 今井 秀行

ミトコンドリア DNA 調節領域の塩基配列分析から、沖縄近海において加入時に大群を形成するアミアイゴ *Siganus spinus* と大群を形成しないゴマアイゴ *S. guttatus* の遺伝的多様性と集団構造を解明し、初期生活史における分散戦略について考察した。沖縄島と石垣島で漁獲されたアミアイゴ稚魚の 2 集団計 69 個体について、ミトコンドリア DNA 調節領域を含む 461 塩基対の塩基配列を決定して分析をおこなった結果、17 の部位で変異が見られ、22 のハプロタイプが検出された。両集団ともにハプロタイプ多様度は高い値を示したが、塩基多様度は低い値を示した。沖縄島と石垣島の両集団間に遺伝的異質性は認められず、一つの繁殖集団であることがわかった。同様に沖縄島、宮古島および石垣島で漁獲さ

れたゴマアイゴ3集団計152個体,476塩基対の塩基配列分析をおこなった結果,50の部位で変異が見られ,42のハプロタイプが検出された。全集団で遺伝的多様性は高く,沖縄島集団と宮古島・石垣島集団の2地域集団に分化していた。両種は漁獲対象種ではあるものの,高い遺伝的多様性を維持していることが明らかになった。また,アミアイゴはゴマアイゴに比べてより広域にわたる遺伝子流動をおこなっていると考えられ,このことは2種の初期生活史における分散戦略の違いを表しているものと考えられた。

### Upwelling of oxygen-depleted water (Sumishio) in Omura Bay, Japan

Tetsuya Takahashi, Hideaki Nakata, Keiji Hirano, Kazumi Matsuoka, Mitsunori Iwataki, Hitoshi Yamaguchi, and Tomoyuki Kasuya, 113–120.

大村湾における貧酸素水塊の湧昇現象(澄み潮)  
高橋 鉄哉, 中田 英昭, 平野 慶二, 松岡 数充, 岩滝 光儀, 山口 仁士, 粕谷 智之

大村湾において,現地調査と3次元数値モデルによって風駆動される循環と貧酸素水塊の湧昇(青潮;大村湾では澄み潮と呼ぶ)とそれに伴う分布の変化について研究を行った。夏季の静穏期には,海峡部のよく混ざった水は,湾西部の中層より南下,東部から北上して,低気圧性の循環を形成する。この循環の中心付近の下層に停滞性の高い水塊が形成され,貧酸素化する。強い南東風(北東風)の連吹により,海底の貧酸素水塊は,南東(北東)の方向に移動する。このとき,貧酸素水塊は湧昇して海洋生物の大量へい死をもたらす。

### Crown foliage dynamics of mangrove *Kandelia obovata* in Manko Wetland, Okinawa Island, Japan

Kangkuso Analuddin, Sahadev Sharma, Rempei Suwa, and Akio Hagihara, 121–127.

沖縄島漫湖湿地におけるマングローブ種であるメヒルギの樹冠の葉群動態

Kangkuso Analuddin, Sahadev Sharma, 諏訪 練平, 萩原 秋男

メヒルギの樹冠の葉群動態を明らかにするために,新葉の加入率,生存率,面積成長に関して調べた。新葉の展開は年間を通じて連続的に起こり,7月に最も多く,1月に最も少なかった。落葉が最も多いのは8月であり,最も少ないのは1月であった。葉の相対死亡率はその葉が展葉した季節に依存していた。個葉の成長様式は季節によって異なっていた。最大葉面積は,秋季より冬季で有意に高かったが,冬季と秋季以外の季節間では有意差は見られなかった。冬季では,個葉

の面積成長の半展開期は長く,成長係数は低かった。このため,夏季に展葉した個葉は早い初期成長を示し,冬季に展葉した個葉よりも短期間で最大面積に達する。このことは,主に夏季と冬季との成育温度の違いに起因しているようであった。樹冠の葉面積は,あたかもホメオスタシスが働いているかのように,年間を通じてほとんど一定に保たれていた。新葉量の指標である托葉の落下量は繁殖器官である花や胎生種子の落下量の増加に対して有意に減少した。このことは,繁殖器官の生産が個葉の新規加入の低下をもたらすことを意味している。このことから,メヒルギが花と胎生種子の生産に大量の投資を行っていると考えられた。

### Distribution of Changjiang Diluted Water detected by satellite chlorophyll-*a* and its interannual variation during 1998–2007

Hyun-cheol Kim, Hisashi Yamaguchi, Sinjae Yoo, Jianrong Zhu, Kazumaro Okamura, Yoko Kiyomoto, Katsuhisa Tanaka, Sang-Woo Kim, Tae-wook Park, Im Sang Oh, and Joji Ishizaka, 129–135.

衛星クロロフィル a から求めた長江希釈水の分布とその1998年から2007年の経年変動

Hyun-cheol Kim, 山口 寿史, Sinjae Yoo, Jianrong Zhu, 岡村 和麿, 清本 容子, 田中 勝久, Sang-Woo Kim, Tae-wook Park, Im Sang Oh, 石坂 丞二

1998年から2007年の夏季東シナ海のSea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS)クロロフィル a 分布を解析した。K-meansクラスタ法による統計解析によって,長江希釈水(CDW)を示す適切な衛星クロロフィル a 濃度を定義した。衛星クロロフィル a 濃度が高い海域( $>0.48 \text{ mg m}^{-3}$ )の分布は,毎年CDWの低塩分分布( $<30 \sim 32$ )とよく対応していた。高衛星クロロフィル a 濃度で示されたCDWの面積の経年変動は,長江による夏の淡水流入の経年変動と対応していた。その相関関係は流入後CDWが東シナ海を1から2か月間で東に広がっていることを示した。

## Number 2

### Nearshore scavenging phenomenon elucidated by $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ disequilibrium in the coastal waters off western Taiwan

Ching-Ling Wei, Jing-Ru Tsai, Liang-Saw Wen, Su-Cheng Pai, and Jen-Hua Tai, 137–150.

### 西部台湾沖沿岸水の $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 非平衡により説明される沿岸スキャベンジング

2004年11月19~23日、台湾西部海岸線沿いの27測点において、表面水中溶存態および粒子態  $^{234}\text{Th}$  の放射能を測定した。西部台湾沖沿岸水におけるスキャベンジングは、濁水溪 (Cho-Shui River) を境として、北部海域と南部海域で対照的であった。北部海域は濁水溪からの懸濁物ブルームの北方輸送によってもたらされる大量の懸濁物で特徴付けられ、一方、南部海域は低懸濁物、高クロロフィルであり、生物活動によって制御される系と特徴付けられる。沿岸水でのスキャベンジングと除去の速度を評価するために、物理的輸送を考慮したスキャベンジングモデルを適用して  $^{234}\text{Th}$  収支を計算した。スキャベンジングと除去の速度は、溶存態  $^{234}\text{Th}$  では  $21\text{--}127\text{ dpm m}^{-3}\text{ d}^{-1}$ 、粒子態  $^{234}\text{Th}$  では  $36\text{--}525\text{ dpm m}^{-3}\text{ d}^{-1}$  であった。粒子態  $^{234}\text{Th}$  の除去フラックスに懸濁粒子の有機炭素/ $^{234}\text{Th}$  比または有機窒素/ $^{234}\text{Th}$  比を掛けることで、粒状有機炭素 (POC) と粒状有機窒素 (PON) の除去フラックスを見積った。その値は、それぞれ  $4.5\text{--}275.2\text{ mmol-C m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ 、 $1.3\text{--}50.1\text{ mmol-N m}^{-2}\text{ d}^{-1}$  であった。これらのフラックスより、西部台湾沖沿岸表面水の POC の滞留時間は1~20日と算定された。

### Seasonal and interannual variation of North Pacific Subtropical Mode Water in 2003–2006

Eitarou Oka, 151–164.

2003–2006年の北太平洋亜熱帯モード水の季節・経年変動  
岡 英太郎

アルゴフロートにより得られた2003–2006年の水温・塩分データを用いて、北太平洋亜熱帯モード水 (STMW) の分布域全体にわたる形成・輸送過程およびその特性の経年変化を調べた。STMWは晩冬に、黒潮続流から約  $28^\circ\text{N}$  まで、東西方向には  $135^\circ\text{E}$  から日付変更線付近まで伸びる黒潮再循環域において形成される。この再循環域は数個の高気圧性循環から成り、各々の循環の中で固有の水温を持った STMW が形成される。形成された厚い STMW は春以降もそれぞれの循環に閉じ込められ、形成域にとどまり続ける傾向がある。この厚く、停滞した STMW のプールから、一部が少しずつ南側の海域に漏れ、その後亜表層の循環によって南西方向に流され、南は  $20^\circ\text{N}$  まで、西は台湾のすぐ東まで達する。黒潮再循環域では東へ行くほど低温、低塩で高密度な STMW が形成されるが、特性の東西変化は特に  $140^\circ\text{E}$  を挟んで大きく、それより東では小さい。  $140^\circ\text{E}$  以東で形成される STMW の特性は顕著な経年変化を示し、水温は2003年から2006年にかけて約  $1^\circ\text{C}$ 、塩分も2003年から2005年に

かけて約0.05増加した。これらの変化は台湾の東に至るまでの下流域で明確に捉えられた。

### Spreading of river water in Suruga Bay

Kiyoshi Tanaka, Yutaka Michida, Teruhisa Komatsu, and Kenji Ishigami, 165–177.

駿河湾における河川水の拡がりに関する研究

田中 潔, 道田 豊, 小松 輝久, 石神 健二

駿河湾において河川水が拡がる過程を、数値実験と漂流ブイ観測によって調べた。湾内へ流出する河川水量には顕著な季節変化があり、夏季に多く冬季に少ない。夏季を想定した数値実験では、河川水は湾奥部および湾西部を中心に湾内に広く拡がり、既往の観測結果と整合的である。河川水の拡がり方に対しては、海底地形が重要な影響を及ぼす。すなわち、富士川から流出する河川水は急峻な大陸斜面上において、海面に捕捉されながらバルジ (高気圧生渦) を形成して拡がるため、沖側へ拡がりやすい。それに対して、大井川から流出する河川水は浅い大陸棚上において、海底に捕捉されながら、等深線 (海岸線) に沿って拡がる。さらに、季節変化する海洋成層の影響や湾スケールの風成循環流の影響についても調べた。富士川河口付近における漂流ブイ観測の結果は、そこに高気圧生渦 (バルジ) が存在することを強く示唆した。

### Possibility of recent changes in vertical distribution and size composition of chlorophyll-a in the western North Pacific region

Hiroshi Ishida, Yutaka W. Watanabe, Joji Ishizaka, Toshiya Nakano, Naoki Nagai, Yuji Watanabe, Akifumi Shimamoto, Nobuhiro Maeda, and Michimasa Magi, 179–186.

西部北太平洋におけるクロロフィル a の鉛直分布およびサイズ構成変動の可能性

石田 洋, 渡辺 W. 豊, 石坂 丞二, 中野 俊也, 永井 直樹, 渡辺 雄二, 嶋本 晶文, 前田 亘宏, 間木 道政

西部北太平洋における過去数10年間の夏季におけるクロロフィル a について、以下に示す三つの変動傾向が示された。(1) 有光層表層側のクロロフィル a が有光層全体のクロロフィル a に占める割合が、東経  $137^\circ$  の亜熱帯海域の1972年から1997年 (以下、 $137^\circ\text{E}$  亜熱帯域) にかけて年々0.4%、東経  $175^\circ$  の黒潮続流域の1990年から2001年 (以下、 $175^\circ\text{E}$  黒潮続流域) にかけて年々2.5%それぞれ減少傾向にあること。(2) クロロフィル a 亜表層極大水深が、 $137^\circ\text{E}$  亜熱帯域では年々0.4 m、 $175^\circ\text{E}$  黒潮続流域では年々2.6 m 深くなっていること。(3)  $3\text{ }\mu\text{m}$  以上に分画される大型のクロロフィル

a が全クロロフィル a に占める割合が, 137E 亜熱帯域では年々0.1%, 175E 黒潮統流域では年々2.5%それぞれ減少していること。

これらの傾向がみられた海域の水深 75 m における  $\sigma_\theta$  は, 137E 亜熱帯域では年々0.006, 175E 黒潮統流域では年々0.05それぞれ減少する傾向をしめした。さらに西部北太平洋亜熱帯海域において, 1997年から2005年まで実施されたセジメントトラップ実験では, 捕捉された沈降粒子中の生物起源オパールに減少傾向が見られ, オパールと炭酸カルシウムの比が年々0.015減少していた。これら結果は, 西部北太平洋の温帯から亜熱帯域の夏季において, ここ数10年間で, 温暖化の影響により, 有光層表層側の植物プランクトンや珪藻などの大型の植物プランクトンが減少していることを示唆する。

### Genetic diversity and population structure of three dominant myctophid fishes (*Diaphus theta*, *Stenobrachius leucopsarus*, and *S. nanochir*) in the North Pacific Ocean

Shigeaki Kojima, Masatoshi Moku, and Kouichi Kawaguchi, 187–193.

北太平洋におけるハダカイワシ類優占種 (トドハダカ, コヒレハダカ, セッキハダカ) の遺伝的多様性と集団構造  
小島 茂明, 杵 雅利, 川口 弘一

ミトコンドリア DNA チトクローム b 遺伝子領域の部分塩基配列に基づき, 北太平洋の中・深層で優占する3種のハダカイワシ類の遺伝的多様性を比較した。いずれの種についても, 地理的な遺伝的分化は見られなかった。典型的な日周鉛直移動種であるトドハダカの遺伝的多様性が最も低く, 日周鉛直移動をおこなわないセッキハダカの遺伝的多様性が最も高かった。一部の個体が日周鉛直移動をおこなうコヒレハダカの遺伝的多様性は中間的な値をとった。3種のいずれについても, 過去に急激な集団拡大を経験している事が示唆された。種間の遺伝的多様性の違いが, 氷期におけるそれぞれの種の栄養要求に対応した集団サイズ縮小の程度の違いによるものである可能性ある。

### Role of environment and hydrography in determining the picoplankton community structure of Sagami Bay, Japan

Smita Mitbavkar, Toshiro Saino, Naho Horimoto, Jota Kanda, and Takashi Ishimaru, 195–208.

相模湾におけるピコプランクトンの群集組成におよぼす水理的環境の役割

Smita Mitbavkar, 才野敏郎, 堀本奈穂, 神田穰太, 石丸隆

2002年6月から2004年3月までの間, 相模湾浅層におけるピコプランクトン群集の季節変動を調べた。相模湾浅層では暖候期には沿岸性の海水が卓越し, 寒候期には亜熱帯モード水類似の海水が卓越するが, 時として黒潮系水の流入が見られる。暖候期のピコ植物プランクトンの中ではシネココッカスが優先し, プロクロロコッカスとピコ真核プランクトンがこれに続いたが, ピコプランクトン全体の中では従属栄養細菌が通年, 特に暖候期に, 優先した。黒潮系水が流入した時にはシネココッカスやプロクロロコッカスなどが増大し, ピコ真核プランクトンと従属栄養細菌は減少した。寒候期にはピコ植物プランクトンの現存量は鉛直的に均一で, 低い値を示した。暖候期におけるシネココッカスの優先は高温, 低塩, 高照度による。シネココッカス, プロクロロコッカスと従属栄養細菌の現存量は水温と正相関を示し, プロクロロコッカスとピコ真核プランクトンの現存量は栄養塩と正相関を示した。1年を通じての植物プランクトン全体におけるピコ植物プランクトンの割合は  $32 \pm 4\%$  であり, ピコ植物プランクトンの炭素量の中ではピコ真核プランクトンがもっとも大きな割合を占めた。湾内の海水の交換を含んだ環境の季節変化がピコプランクトンの群集構造に影響を及ぼし, 相模湾における食物網の動態に重要な役割を果たしている。

### Influence of export rain ratio changes on atmospheric CO<sub>2</sub> and sedimentary calcite preservation

Megumi O. Chikamoto, Katsumi Matsumoto, and Yasuhiro Yamanaka, 209–221.

輸出生産比の変化に対する大気中二酸化炭素分圧と堆積物中炭酸カルシウムへの影響

近本 めぐみ, 松本 克美, 山中 康裕

輸出生産におけるレインレシオ (炭酸カルシウム/有機炭素) を変化させた時の大気中の二酸化炭素分圧と堆積物中のカルサイト含有率の応答を, 鉛直1次元堆積モデルを結合させた海洋物質循環モデルを用いて調べた。レインレシオを25%減少させると大気中二酸化炭素分圧は 59 ppm 低下した。これは炭酸カルシウムの生産低下とカルサイトの埋没減によるアルカリ度上昇によって引き起こされた。この応答でカルサイトの飽和深度は 1.9 km 深くなるが, 堆積物中のカルサイト含有率や保存効率は大きな応答を示さなかった。これは, 海底に到達する沈降粒子の減少に伴う堆積層内のカルサイトの埋没減と飽和深度の降下に伴う埋没増が相殺したためである。さらに, 最初の1万年は沈降粒子の減少によるカルサイトの埋没減が優勢であり, カルサイト飽和深度の増大と連動しないことを示した。この応答は堆積物中のカルサイ

トの溶解が有機物の分解で駆動される状況で起こりやすいと推察され、カルサイトのリソクライン深度と飽和深度の変化は必ずしも連動しないという氷期の地質学的証拠を支持する結果となっている。

#### Similarity of electrophoretic dissolved protein spectra from coastal to pelagic seawaters

Namiha Yamada and Eiichiro Tanoue, 223–233.

沿岸から外洋海水にかけた溶存態タンパク質の電気泳動スペクトルの類似性

山田 奈海葉, 田上 英一郎

東京湾、相模湾および黒潮沖の観測点において、溶存態タンパク質の1次元および2次元電気泳動像を明らかにした。それぞれの電気泳動法によって分離されたタンパク質の泳動像は、既に外洋で報告されたものと非常に類似していた。このことから、広範囲の海洋環境において溶存態タンパク質組成には類似性があることが明らかになった。東京湾には、電気泳動像上でバンドやスポットとして検出されないタンパク質様の溶存態有機物が存在することが初めて明らかになった。既報により、48 kDa および 39 kDa タンパク質がそれぞれ、*Pseudomonas aeruginosa* PAO1 の Porin P および低分子量アルカリホスファターゼの同属体であることが明らかになっている。本研究において、再度、相同性検索を行ったところ、新たに *P. aeruginosa* 4 株および *Pseudomonas* 属 2 種が起源として同定された。

#### Long-term bottom water warming in the north Ross Sea

Hirokazu Ozaki, Hajime Obata, Mikio Naganobu, and Toshitaka Gamo, 235–244.

ロス海北部底層水の長期的温度上昇

尾崎 宏和, 小畑 元, 永延 幹男, 蒲生 俊敬

ロス海北部 (65.2°S, 174.2°E および 67.2°S, 172.7°W) において、水温、塩分、溶存酸素濃度の鉛直分布を 2004 年 12 月に観測し、過去のデータとの比較から長期変化を検討した。その結果、これまで約 40 年の間に、水深 3,000 m よりも下層で有意な水温上昇、塩分および溶存酸素濃度の低下が生じたことが示された。ロス海北部とその周辺海域における水温、塩分、溶存酸素濃度、 $\sigma_3$  値の海域分布、底層水の流れを詳細に解析したところ、本海域南西部で形成される低温、高塩分、高酸素濃度の高塩型ロス海底層水の影響が弱まった一方、比較的高温かつ低塩分低酸素である、低塩型ロス海底層水およびオーストラリア南極海盆から流入するアデリーランド底層水の影響が強まったことが示唆され、水塊混合バランスの変化が本海域底層部における長期変化の要因であると推

察された。地球温暖化現象と海洋循環の関連について、より一層の研究が求められると考えられた。

#### Influence of non-photosynthetic pigments on light absorption and quantum yield of photosynthesis in the western equatorial Pacific and the subarctic North Pacific

Anil Kumar Vijayan, Takashi Yoshikawa, Shigeki Watanabe, Hiroaki Sasaki, Kazuhiko Matsumoto, Sei-ichi Saito, Shigenobu Takeda, and Ken Furuya, 245–258.

西部赤道太平洋域および北太平洋亜寒帯域において、光防御色素が植物プランクトン群集の吸光係数と光合成量子収率に及ぼす影響

Anil Kumar Vijayan, 吉川 尚, 渡辺 茂樹, 佐々木 宏明, 松本 和彦, 斉藤 誠一, 武田 重信, 古谷 研

植物プランクトンの吸光係数 ( $\bar{a}_{ph}^*$ ) を、光防御色素によるもの ( $\bar{a}_{np}^*$ ) と光合成色素によるもの ( $\bar{a}_{ps}^*$ ) とに分けて空間変動を調べた。赤道太平洋域では、( $\bar{a}_{np}^*$ ) は西部暖水プールの表層でフロント域に比べ高かった。北太平洋亜寒帯域では、( $\bar{a}_{np}^*$ ) は西部循環域でアラスカ循環域に比べ高かった。また、北太平洋亜寒帯域では、赤道太平洋域に比べて ( $\bar{a}_{np}^*$ ) は低く、鉛直方向の違いも小さかった。以上のような ( $\bar{a}_{np}^*$ ) の空間変動の要因としては、これまで示唆されていた水理条件の違いに加えて、群集組成の違い、すなわち光防御色素のゼアキサンチンを細胞内に高濃度に蓄積できるシアノバクテリアの多寡が考えられた。光防御色素の空間変動は光合成量子収率にも影響しており、その影響を補正する前の量子収率は、補正後に比べて各海域で平均して 4–26% の過小評価となっていた。

#### Vertical structure of low-frequency currents in the southwestern East Sea (Sea of Japan)

Yun-Bae Kim, Kyung-Il Chang, Kuh Kim, Jae-Hun Park, and Jae-Hak Lee, 259–271.

南西日本海における低周波変動海流の鉛直構造

2002 年 11 月から 2004 年 4 月の間に得られた全水深にわたる海流データを用いて、南西日本海の中中部隠岐海裂における低周波海流の鉛直構造を解析した。観測期間中の平均流は、全深度にわたって対馬海盆に向かう方向であった。50–60 日の卓越周期を持つ主温度躍上側の上層海流変動は、対馬暖流沖側分枝の西向き蛇行に付随する暖水渦の移動と強く関係することが示された。主温度躍下側の深層海流変動は、40 日の卓越周期を持つ。15 日～100 日の周期帯に対する海底と上

層近くの海流のコヒーレンシーは、360 m 深まで統計的に有意であるが、表層 200 m の海流とは有意な相関はない。密に装備された係留系データは、平均と渦運動エネルギーが、水温勾配がほとんどなくなる 1,000 m 深で最小となることを示す。経験的直交関数 (EOF) 解析によれば、上層海流と深層海流の総変動の 70% が、ほとんど深度依存のない固有ベクトルによって特徴づけられる第一モードで説明できる。スペクトル解析と EOF 解析の結果は、深層海流変動の大部分は、局地的な上層海流変動に直接関係づけられないということを示唆している。

**Observations of wind-driven deepening of the surface mixing layer in the Tsushima strait**  
Takahiro Endoh, Takeshi Matsuno, Yutaka Yoshikawa, Yasuto Tatsuyama, and Joji Ishizaka, 273–279.

対馬海峡において観測された風による海面混合層の発達過程  
遠藤 貴洋, 松野 健, 吉川 裕, 達山 康人, 石坂 丞二

衛星追跡型漂流ブイに acoustic Doppler current profiler (ADCP) を連結して計測した水平流速データ、および、この漂流ブイを追跡しながら Turbulence Ocean Microstructure Acquisition Profiler (TurboMAP) を用いて計測した微細構造データを用いて、対馬海峡における風による海面混合層の発達過程を詳細に記述した。このようにして、観測データをラグランジュ的に取得することで、水平移流の影響を除くことを試みた。乱流運動エネルギー散逸率は TurboMAP を用いて直接計測し、乱流運動エネルギー生成率  $P$  は ADCP で計測した水平流速データから鉛直 1 次元の線形運動方程式を用いて見積った。こうして得られた観測データにバルク混合層モデルを適用して乱流運動エネルギーの収支を考察した結果、位置エネルギーの時間変化項、乱流運動エネルギー生成項、乱流運動エネルギー散逸項、海表面における乱流運動エネルギーフラックスおよび浮力フラックスの合計が大きく時間変化しており、1 日より短い時間スケールの海面混合層の発達過程に、多くのバルク混合層モデルで無視されている、乱流運動エネルギーの時間変化が重要であることが示された。

#### 短報

**Seasonal variability of the sea surface height in the East China Sea along the China coast: A model study**

Yoshinobu Wakata, 281–286.

中国大陸東岸に沿う東シナ海の海面高度の季節変動について: モデル研究

和方 吉信

中国大陸東岸に沿う海面高度の季節進行は、沖合の東シナ海全域に比べ数ヶ月遅れる。この原因の一つに強い季節風の影響が考えられる。そこで、この仕組みを解明するため、浅く傾斜した海底を持つ矩形の海洋に北風を吹かせる理想化した数値実験を行い、海面の変動を調べたところ、海洋西岸に集中した海面の盛り上がりと南下流が現れた。中国大陸縁に沿う海面高度の位相の遅れは熱膨張とこの季節風の影響により説明できる。東シナ海の広い海域では、海面からの熱フラックスによる海水の膨張・収縮により、海面高度は 9 月に高く 3 月に低い。しかしながら、大陸縁近くでは、季節風は海面高度を 1 月に高く 7 月に低くする。これらの時系列を合成すると、中国大陸縁に沿う海面高度の季節変動の位相は東シナ海全域より遅れることになる。

### Number 3

**Reevaluation of historical ocean heat content variations with time-varying XBT and MBT depth bias corrections**

Masayoshi Ishii and Masahide Kimoto, 287–299.

XBT と MBT の深度バイアス補正による歴史的海洋貯熱量の再評価

石井 正好, 木本 昌秀

1960 年代の中頃から行われてきている XBT と MBT の観測データには正の水温バイアスが含まれており、このバイアスが海洋の水温変動の長期的変化に影響を与えている可能性が指摘されている。海洋の温暖化シグナルの検出に広く活用されてきた従来の歴史的な水温観測解析値では、このバイアスは考慮されていない。本論文では、上述の XBT と MBT の水温バイアスを除去する方法を提案する。問題となっている水温の正のバイアスは、主に XBT の落下式によって与えられる観測深度が深すぎることに起因していると仮定し、XBT 観測を CTD とボトル採水による観測と比較して求めた深度差を、落下経過時間の一次関数に適合させ、バイアス補正式を作成した。バイアス補正式は、年別および XBT プローブの種類別に構成した。補正式の係数についての推定誤差は、非パラメトリックな方法で評価した。また、XBT の深度のバイアスは、典型的に、700 m 深で +10 m であった。XBT のバイアスは、従来の落下式の代表性が乏しかったことに加えて、現時点では特定することのできない、XBT 観測における様々な誤差が関連していると考えられる。MBT のバイアスについては、観測深度の 2 次式を導入し、XBT

と類似の方法で評価した。上記したバイアス補正式を用いて XBT および MBT の深度を更正し、歴史的水温の客観解析を行った。従来の客観解析と比べて、現行の解析には次のような大きな違いが見られた。1970 年代の海洋貯熱量の大きな期間が長期間継続していたものが、バイアス補正により、ほとんど見られなくなり、近年の海洋の冷却化は顕著でなくなった。新しい客観解析結果は、潮位データと良い対応を示した。

#### Short-term temperature and salinity variations in the Tsushima Strait in 2004: Behavior of the surface low-salinity water in the strait

Kosuke Mori, Takeshi Matsuno, Tomoharu Senjyu, Naoki Hirose, and In-Seong Han, 301–310.

2004 年に対馬海峡で観測された水温・塩分の短期変動: 対馬海峡内における表層低塩分水塊の挙動

森 康輔, 松野 健, 千手 智晴, 広瀬 直毅, 韓仁盛

2004 年に美津島 (対馬東岸) と蓋井島 (山口県) で得られた水温・塩分の定点時系列観測結果と、博多–釜山間を航行するフェリー「ニューかめりあ」によって得られた表層の水温・塩分の観測結果について調べた。これらの結果から、長江水が主な起源であると推測される高温・低塩分水塊は、夏季において断続的に対馬海峡を通過していることが示された。また、2004 年 7 月下旬に、大きな低塩分水塊が対馬海峡を通過しており、このときの淡水通過量は  $12 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  に達すると見積られた。これは、長江の月平均流量最大値の 2 倍以上の値である。さらに、HF レーダの観測結果から対馬海峡内における日毎の表層流分布を示し、定点・フェリー観測による塩分変動と比較した。その結果、東水道側に位置する美津島で観測される時系列変動は、時には、西水道を北東方向に通過したあと対馬北部から南下してきた水塊の特徴を捉えることがありと示唆された。

#### Contribution of benthic microalgae to the whole water algal biomass and primary production in Suo Nada, the Seto Inland Sea, Japan

Md. Jahangir Sarker, Tamiji Yamamoto, and Toshiya Hashimoto, 311–323.

瀬戸内海周防灘における水柱全体の藻類バイオマスと一次生産に対する底生微細藻類の寄与

Md. Jahangir Sarker, 山本 民次, 橋本 俊也

周防灘全域において、2001 年度に行った季節ごとの観測結果から、微細藻類のバイオマスと一次生産について、浮遊

微細藻類および底生微細藻類の比較を行った。光補償深度と水深の比較から、周防灘西部は底生微細藻類が潜在的に生息可能な海域であるとみなすことができた。海底には上層水柱から沈降してきた浮遊微細藻類が多いが、南西部海域ではバイオマス・一次生産ともに底生微細藻類のそれが大きいことがわかった。しかしながら、南西部海域で水柱全体に占める底生微細藻類のバイオマスの割合は、冬に 7%、夏に 2%であった。また、底生微細藻類の一次生産量は  $4.0\text{--}74.0 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  の範囲であり、これは水柱全体の 2–12%に相当した。底生微細藻類の役割は、それ以外に、底泥から水柱への栄養塩フラックスを減少させたり、底泥表層を酸化的に保ったり、動物ペントスの餌となったりするので、これらについても考察を加えた。

#### Observations of the North Equatorial Current, Mindanao Current, and Kuroshio Current System during the 2006/07 El Niño and 2007/08 La Niña

Yuji Kashino, Norievil España, Fadli Syamsudin, Kelvin J. Richards, Tommy Jensen, Pierre Dutrieux, and Akio Ishida, 325–333.

2006/07 エルニーニョおよび 2007/08 ラニーニャ時の北赤道海流–ミンダナオ海流–黒潮海流系の観測

柏野 祐二, Norievil España, Fadli Syamsudin, Kelvin J. Richards, Tommy Jensen, Pierre Dutrieux, 石田 明生

2006 年 12 月 (2006/07 エルニーニョ時) と 2008 年 1 月 (2007/08 ラニーニャ時) の 2 回、船舶による海洋観測を行い、北赤道海流がミンダナオ海流と黒潮に分岐するフィリピン東方海域における海流系の比較を行った。2006 年末のエルニーニョ時においては、北赤道海流とミンダナオ海流は 2008 年 1 月のラニーニャ時に比べ強かった。一方、黒潮の流速については、逆の傾向が見られた。2006 年 12 月から 2008 年 1 月にかけての北緯 8 度東経 130 度周辺を中心とする力学高度の増加が、北赤道海流とミンダナオ海流の弱化的原因となっている。この海流系の変化に対して、局所的な風は寄与していないと考えられる。

#### Accurate ocean tide modeling in southeast Alaska and large tidal dissipation around Glacier Bay

Daisuke Inazu, Tadahiro Sato, Satoshi Miura, Yusaku Ohta, Kazuyuki Nakamura, Hiromi Fujimoto, Christopher F. Larsen, and Tomoyuki Higuchi, 335–347.

アラスカ州南東域における高精度海洋潮汐モデルと Glacier 湾周辺における顕著な潮汐エネルギーの消散  
稲津 大祐, 佐藤 忠弘, 三浦 哲, 太田 雄策, 中村 和幸, 藤本 博巳, Christopher F. Larsen, 樋口 知之

有限差分法に基づく順圧海洋モデルを用いて, アラスカ州南東域における高精度海洋潮汐モデルを開発した。モデルの精度は Glacier 湾を含むアラスカ州南東域の潮位計に基づく観測調和定数によって検証された。既存のモデルである Foreman *et al.* (2000) と比べ, 特に Glacier 湾内において顕著な改善が見られた。モデルの精度は用いられる海底地形によって基本的に決定される。モデル結果から, アラスカ多島海における  $M_2$  分潮の潮汐エネルギーの消散量を見積ったところ 3.4 GW であった。これは Foreman *et al.* (2000) の推算と比べ 1.5 倍の消散量である。Chatham 海峡から流入した  $M_2$  分潮の潮汐エネルギーの多くは Glacier 湾周辺で消散する。今回開発した潮汐モデルは Foreman らのモデルと比べ, Glacier 湾周辺では特に, 測地学データの海洋潮汐補正に有効であろう。

#### Nutrient transport from an artificial upwelling of deep sea water

Nicholas Williamson, Atsuki Komiya, Shigenao Maruyama, Masud Behnia, and Steve W. Armfield, 349–359.

海洋深層水の人工湧昇における栄養塩類の拡散

Nicholas Williamson, 小宮 敦樹, 円山 重直, Masud Behnia, Steve W. Armfield

H. Stommel により提唱された永久塩泉の原理による海洋深層水汲み上げ後の表層拡散に関する数値解析を行った。著者らによる海洋実験で得られた深層水湧出量を境界条件として, パイプ流出後の深層水が表層流によって下流方向に拡散する過渡現象をモデル化し, 表層域での深層水流出後の挙動と到達距離の評価を行った。乱流モデルには  $k-\epsilon$  モデルを採用した。パイプ出口の  $Fr$  数は  $-2.6$  とし, 流出直後は, 鉛直下向きに体積力が働くことと仮定した。深層水はパイプから流出後, 初期段階ではパイプ周辺において通常の噴流に見られる流動の様相と類似した様相で拡がり呈するが, 表層水と深層水の間で熱および塩分の拡散も同時に進行しているため, 浮力は直ちに 0 となり, 深層水は再沈降することなく表層域にとどまり, 表層流により下流方向へ運ばれることがわかった。これらの数値計算結果に基づいて, 深層水の海洋肥沃化への利用について議論した。

#### Evidence of microphytobenthic roles on coastal shallow water of the Seto Inland

#### Sea, Japan

Nattapong Loassachan, Kazuhiko Ichimi, and Kuninao Tada, 361–372.

瀬戸内海の浅海域における底生微細藻類

Nattapong Loassachan, 一見 和彦, 多田 邦尚

光合成に必要な光が海底にまで到達している瀬戸内海東部の浅海域海底 (水深 7 m) で底生微細藻類の生物量とその変動要因および微細藻類の活性について定点観測を行った。夏季には水柱内の浮遊性植物プランクトン量が増加し透明度が低く, 逆に, 冬季には植物プランクトン量の減少により透明度が高くなり, その結果, 海底に到達する光量子量は冬季に高くなった。一方, 底生微細藻類の生物量の指標となる表層泥中のクロロフィル a (Chla) 含量は, 海底への光到達量が高くなる冬季に最高値 ( $48.2 \mu\text{g g}^{-1}$ ) を示した。さらに, 低水温期における表層堆積物中の Chla 含量と, 表層堆積物間隙水中の栄養塩との間に負の相関関係が認められた。これらのことから, 冬季には天空光からの光量子量は低下するものの透明度が高くなることにより, 海底まで光が到達し底生微細藻類の生物量および活性が高くなり, 間隙水中の栄養塩が底生微細藻類に取り込まれ利用されていることが示唆された。

#### Roles of vertical turbulent mixing in the ocean response to Typhoon Rex (1998)

Akiyoshi Wada, Hiroshi Niino, and Hideyuki Nakano, 373–396.

鉛直乱流混合が台風 Rex (1998) に対する海洋応答に果たす役割

和田 章義, 新野 宏, 中野 英之

気象研究所海洋大循環モデル (MRI.COM) を用いて, 海面水温低下における鉛直乱流混合の役割が台風の移動速度とともにどう変化するのか, 1998 年の台風 Rex に対して調査を行った。MRI.COM は Rex の経路に沿った海域での TRMM/TMI による 3 日平均海面水温場を良く再現した。台風 Rex の移動速度が速い段階では, 計算された海面水温低下は鉛直シアーによる鉛直乱流混合により Rex の経路の右側で形成される。一方で移動速度が遅い段階においては, エクマン輸送域は鉛直乱流混合域と台風の背後でほぼ重なっていた。転向期においては台風が通過した後, 1 近慣性周期にて湧昇により運ばれた冷たい海水が鉛直乱流混合により効率的に取り入れられていた。この MRI.COM による数値シミュレーション結果に合うように, スラブ海洋混合層モデルに組み込まれている Deardorff (1983) のエントレインメント算出法を修正した。主な修正点は, (1) 海面での砕波による乱流運動エネルギーの生成の考慮, (2) 乱流輸送による乱流運動エネルギー生成と釣り合わせるための乱流運動エネル

ギー方程式における散逸の増加, および (3) 臨界リチャードソン数の初期値推定法の修正である。これらのエントレインメント算出法の修正により, スラブ海洋混合層モデルにおける海面水温のシミュレーションは改善された。この修正による海面水温のシミュレーションの改善の効果は, 海洋混合層の初期値や日射の日変化・日平均の差による効果よりも, より重要であった。

#### Radionuclides as tracers of water fronts in the South Indian Ocean—ANTARES IV results

Sang-Han Lee, Pavel P. Povinec, Janine Gastaud, Beniamino Oregioni, Laurent Coppola, and Catherine Jeandel, 397–406.

南インド洋の海洋前線トレーサーとしての放射性核種—ANTARES IV の結果

三つの主な前線, アガラス (AF), 亜熱帯 (STF) および亜寒帯 (SAF) で特徴付けられる南インド洋クロゼ湾における水塊循環のトレーサーとして, 人為起源  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  および  $^{241}\text{Am}$  を用いた。AF と STF の影響を受ける  $43^\circ\text{S}$  以北で高い  $^{90}\text{Sr}$  濃度が観測された。これは, 北インド洋から南インド洋に輸送された放射性核種のリザーバーとして働く亜熱帯循環の南端と結びつけられる。一方,  $43^\circ\text{S}$  以南の海域は SAF の影響を受けており, 放射性核種濃度の低い南極水がクロゼ湾にもたらされていた。海水および動物プランクトンの  $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$  放射能比を測定したところ, 燃え尽きた人工衛星 SNAP-9A がインド洋に  $^{238}\text{Pu}$  を注入してから 35 年が経過しているが, なお高レベルの  $^{238}\text{Pu}$  が検出された。海水の放射性核種濃度とその動物プランクトンへの利用度が, 動物プランクトンで観測された  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  および  $^{241}\text{Am}$  量を決定している。

#### Importance of eddy representation for modeling the intermediate salinity minimum in the North Pacific: Comparison between eddy-resolving and eddy-permitting models

Ichiro Ishikawa and Hiroshi Ishizaki, 407–426.

渦解像モデルと渦許容モデルの比較からわかる北太平洋中層塩分極小のモデル化に対する渦表現の重要性  
石川 一郎, 石崎 廣

中層での親潮水と黒潮水の間の大規模な混合過程で中規模渦よりも小さい擾乱の存在が重要という著者達の以前の研究成果を確認するために, 渦解像モデル実験結果を解析し渦許容モデル実験結果と比較した。渦許容実験では初期条件中の

中層塩分極小は積分の進行に連れ弱まるが, それから始めた渦解像実験では急速に回復し維持される。後者では中規模渦より水平幅の小さい水温・塩分のフィラメント状構造がよく発達し, 大規模な混合での重要性を示唆する。黒潮と親潮の起原水で定義される親潮水の混合比は混合水域の中層上部より中層下部で高く, 塩分極小は混合比の低い層と高い層の間の鉛直傾度の強い部分に存在する。等密度層での親潮水・黒潮水の渦輸送は 4 成分に分けられ, 通常の等密度層混合成分が卓越し, 層厚輸送による成分がそれに次ぐ。層厚輸送成分は親潮水・黒潮水に対して同方向 (南向) であるため, 南向きの親潮水の全渦輸送は北向きの黒潮水の全渦輸送と対称でない。

#### Detection of nitrogenase in individual cells of a natural population of *Trichodesmium* using immunocytochemical methods for fluorescent cells

Kaori Ohki and Yukiko Taniuchi, 427–432.

自家蛍光に妨害されない細胞免疫学的検出法を用いたトリコデスミウム天然集団における窒素固定酵素の細胞間局在性の検出

大城 香, 谷内 由貴子

愛媛県宇和島市下波湾で採取したトリコデスミウムを用いて, 窒素固定酵素の窒素固定酵素鉄タンパク質と鉄モリブデンタンパク質  $\alpha$  サブユニットに対してそれぞれ作成されたポリクロナル抗体を用いて窒素固定酵素の発現を細胞レベルで検出した。R 型フィコエリトリンを多量に持つトリコデスミウムは可視領域に非常に強い自家蛍光を発光するため, 蛍光プローブを用いた抗体反応の検出が困難である。自家蛍光による妨害を避けるために, 抗体反応の可視化には西洋わさびペルオキシダーゼを結合した二次抗体と発色基質である四塩酸 3,3'-デアミノベンジジンを用いる細胞免疫学的検出法を適用した。窒素固定酵素の発現は, 採取されたトリコデスミウム系状体の 66–81% で観察された。また個々の系状体の 77% 以上の細胞で窒素固定酵素が検出された。以上の結果からトリコデスミウムは海洋においても系状体窒素固定ラン藻の一部で見られる窒素固定に特化した異質細胞に相当する細胞を分化していないことが示された。

#### Modeling the effects of atmospheric nitrogen input on biological production in the Japan Sea

Goh Onitsuka, Itsushi Uno, Tetsuo Yanagi, and Jong-Hwan Yoon, 433–438.

### 日本海の生物生産に対する大気由来窒素の影響に関するモデリング

鬼塚 剛, 鶴野 伊津志, 柳 哲雄, 尹宗煥

日本海の生物生産に対する大気由来窒素の影響について物理-生態系モデルを用いて調べた。窒素沈着量を入れた場合と入れない場合で比較した結果、窒素沈着量が大きく、表層栄養塩の枯渇する夏から秋にかけて、日本海南部海域で基礎生産量に対する影響が相対的に大きかった。大気由来窒素は日本沿岸海域で輸出生産量の 10%以上を支えていた。日本海への沈着量増加につれて、新生産における大気由来物質の重要性は着実に増加するだろう。

## Number 4

### Modeling of the branches of the Tsushima Warm Current in the eastern Japan Sea

Hideyuki Kawamura, Toshimichi Ito, Naoki Hirose, Tetsutaro Takikawa, and Jong-Hwan Yoon, 439–454.

#### 日本海東部における対馬暖流分岐のモデリング

川村 英之, 伊藤 集通, 広瀬 直毅, 滝川 哲太郎, 尹宗煥

海洋大循環モデルを使用して、日本海東部における対馬暖流の第一分岐と第二分岐に着目して対馬暖流分岐の再現実験を行い、2000年9月から10月の観測結果と比較した。本研究では対馬海峡と津軽海峡における境界条件として、ADCPで観測された日平均流量データを使用しており、このような数値実験は過去に行われていない。また、人工衛星海面高度計データと沿岸潮位計データから得られた海面変動を海洋大循環モデルに同化している。数値実験の結果、沿岸潮位計データを同化することにより、沿岸域の海況場の改善に成功した。日本海東部における各分岐の季節変化を調べた結果、第一分岐は夏季には沿岸域に連続して現れるが、その他の季節には佐渡海峡と男鹿半島の間で弱化する事が示唆される。第二分岐に関しては、蛇行や渦による変動を伴うが、主軸は1年を通じて水深1,000 m以深の沖合域に存在することがわかった。

### Transient wind drift currents in a tidal inlet: Theoretical analysis of Ekman drift current and field experiments in Suonada, the Seto Inland Sea

Hidekazu Yasuda, 455–476.

沿岸域における Ekman 吹送流の時間依存性: 理論的な検討と周防灘の観測結果

安田 秀一

沿岸海域における吹送流の基本的な振る舞いを明らかにするために、水深が有限の海域に風が吹いたときに引き起こされる流れを解析した。沿岸域では海陸風が観察されることが多いことから、振動風を想定した吹送流についても検討した。自転影響下で運動が時間変動するときには慣性円運動を伴うが、解析解によると、日本周辺での慣性周期は海陸風の周期に近いことから、海陸風による吹送流は発達しやすいことが示された。解析解の理解を深めるために、吹送流生成に関する物理的考察を詳細に行ったが、Ekman 境界層は、物理的には振動流が形成する Stokes 境界層と同じ過程に基づくもので、さらに、回転系を1次元的な方向に直線的に往復する振動数の風が吹いた場合には、コリオリパラメータ  $f$  と複合されて  $f + \omega$  と  $f - \omega$  の2種類の振動数の影響を受けた、振動数  $\omega$  の吹送流が生成されることも示された。前者は振幅を弱め境界層も薄くするが、後者に関しては、慣性周期と海陸風周期のようにお互いの振動数が近い場合には、振幅が増大し境界層も厚くなって、優勢な流れを生成することになる。また、吹送流生成の物理的考察によると、風応力に引き起こされた慣性流は境界層に関わりなく、鉛直粘性率によって深い方に拡散される過程も明らかになった。周防灘の15日間潮流観測データからは、M2, S2, K1, O1の4大分潮成分を取り除くことによって、海陸風によるものと考えられる吹送流を調和常数として導くことができ、理論解析結果と対応づけることができた。また、両者の比較から、鉛直粘性率は  $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  程度と見積ることができた。

### Evaluation of tidal error in altimetry data in the Asian marginal seas

Akihiko Morimoto, 477–485.

アジア縁辺海における海面高度計データに含まれる潮汐誤差の評価

森本 昭彦

アジアの縁辺海において、AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data) の海面高度計データセットに含まれる潮汐補正に起因する誤差の大きさとその地理的分布を明らかにした。潮汐誤差は AVISO の補正済み海面高度データ (CorSSH) を調和解析することにより見積った。15 cm 以上の潮汐誤差が黄海西部および北部、セレベス海、クリル列島そしてオホーツク海北西部で見られた。AVISO から配布されている CorSSH と海面高度偏差データ (SLA) を上記の海域において直接使うことができないことがわかった。CorSSH に含まれる潮汐誤差を小さくするため、最新の潮汐モデルと領域モデルを使い海面高度

データの潮汐補正を行った。潮汐誤差は黄海で約 20 cm, オホーツク海北西部で約 10 cm 減少した。潮汐モデルから得られた潮汐調和定数と海面高度計データから得られた潮汐調和定数との差の RMS (Root Mean Square) を計算した。差の RMS は黄海とオホーツク海で大きかった。主要 4 分潮に対する RMS は黄海・東シナ海で 7.72 cm, オホーツク海で 8.36 cm であった。

#### Measurements of air-ice drag coefficient over the ice-covered Sea of Okhotsk

Ayumi Fujisaki, Hajime Yamaguchi, Takenobu Toyota, Akio Futatsudera, and Masaru Miyanaga, 487–498.

オホーツク海の水氷域における大気-水氷間抵抗係数の計測  
藤 歩美, 山口 一, 豊田 威信, ニツ寺 暁郎, 宮永 大

2002~2005 年のオホーツク海巡視船そうや航海において、渦相関法による大気-水氷間抵抗係数の計測を行った。船体が乱流フラックスや平均風速に及ぼす影響を事前に CFD を用いて評価し、計測した抵抗係数を CFD 結果に基づく手法と、Taylor and Yelland (2001) のパラメタリゼーションを用いた手法の 2 種類の手法で補正した。最終的に得られた抵抗係数は、前者の補正法で  $1.9\text{--}5.4 \times 10^{-3}$  (平均  $2.7 \times 10^{-3}$ )、後者の補正法で  $1.5\text{--}5.0 \times 10^{-3}$  (平均  $3.1 \times 10^{-3}$ ) であった。これらの平均値は Shirasawa (1981) が北海道沿岸における計測結果に基づき提案した  $2.5 \times 10^{-3}$  より若干大きい。また得られた抵抗係数は Guest and Davidson (1991) がまとめた北極海における 1 年氷上の計測結果のうち rough ice, very rough ice 上の値と同程度に分布していた。

#### Integral descriptors of the vertical structure of the ocean

Francisco Machin and Josep L. Pelegri, 499–510.  
海洋の鉛直構造の統合的記述子

海水の中立面密度と栄養塩濃度の鉛直分布をポテンシャル水温、圧力、塩分の多項式によって表記する方法を提案する。この方法を 1988 年の北大西洋 A16N-WOCE 南北断面データに適用し、多項式の係数を逆解法によって求めた。得られた多項式が密度と栄養塩濃度を良好に再現することを分散分析によって確認した。多項式の係数は海域によって変化し、赤道 (E)、熱帯 (T)、亜熱帯 (ST)、亜寒帯 (SP) に大別された。温度と圧力の係数はそれらのすべての移行帯で顕著に変化するが、塩分の係数の大きな変化は T-ST だけであった。中規模スケール振動に似た小さな変動はすべての緯度で見られたが、40 度から 50 度の海底地形の複雑な海域ではやや大きな変動が見られた。密度場の再現を、個々の係数を用いた

場合と係数群として用いた場合で比較し、個々の係数の寄与を評価した。この方法を 2003 年に行われたほぼ同一の断面観測データに対して、観測時の影響を受けている表面付近のデータを除いて、適用し、中立面密度分布を比較した。この結果両者の間に強い類似性と、10 年以上の周期的変動と思われる違いを見出した。我々は、以上の結果に基づいてここで求めたセットとしての多項式の係数が海洋の鉛直構造の簡便な統合的な記述子として有用であると主張する。

#### Connectivity between the interannual salinity variation in the western channel of the Tsushima Strait and hydrographic conditions in the Cheju Strait

Tomoharu Senjyu, In-Seong Han, and Sigeaki Matsui, 511–524.

対馬海峡西水道における塩分の経年変動と Cheju 海峡の  
海況との関連性

千手 智晴, 韓 仁盛, 松井 繁明

対馬海峡と Cheju 海峡の塩分の経年変動を調べた。Cheju 海峡の塩分は対馬海峡西水道の塩分と正の相関を示すが、東水道とは有意な相関を示さない。Cheju 海峡の水温・塩分に対する EOF および SVD 解析の結果、塩分変動と夏季の低温な底層水との関連が示された。また Cheju 海峡の低塩分化と Cheju 海流の強化の時期が一致することから、次のような仮説を提出する。Cheju 海峡底層への低温水の貫入は海峡内の傾圧性を増加し、Cheju 海流を強化する。より低温な底層水はより強い流れを励起し、より多くの長江希釈水を海峡内に引き込むため、より低塩分な状態をもたらす。Cheju 海峡の海水は対馬海峡西水道に流れ込むため、西水道の塩分もそれに同期して変動する。この仮説は Cheju 海峡の水温と対馬海峡の塩分に対する SVD 解析によって支持される。もう一つの西水道の塩分変動要因として、東シナ海の塩分状態が示唆される。

#### SAR-imaged spiral eddies in Mutsu Bay and their dynamic and kinematic models

Satoshi Yamaguchi and Hiroshi Kawamura, 525–539.

SAR で画像化された陸奥湾の Spiral Eddy と、その力学的および運動学的モデル

山口 悟史, 川村 宏

Spiral Eddy は、見かけ上、細い筋が低気圧性渦に巻き取られているような印象を与える特徴的な画像パターンであり、海面を撮影した SAR 画像にしばしば見られる。著者らは、陸奥湾を撮影した 5 枚の SAR 画像に Spiral Eddy を発

見した。これらの SAR 画像はいずれも、強い東風が 1 日以上吹き続けた後に撮影された。陸奥湾の東風は地形強制により渦度を持ち、湾内に低気圧性循環を生成する。この低気圧性循環の位置、直径と Spiral Eddy のそれらとはよく対応した。これらの事実に基づき、力学的および運動学的モデルを提案した。力学モデルは、静穏大気の層、生物起源の界面活性物質の影響下にある層（マイクロレイヤー）、地衡流平衡にある低気圧性循環を有する海洋の層、の 3 層とした。運動学モデルは、マイクロレイヤーが沿岸の固定点から連続的に生成されるとした。これらのモデルによるシミュレーション結果は、SAR 画像のパターンとよく一致した。

### Sedimentary inorganic nitrogen and its isotope ratio in the western subarctic Pacific over the last 145 kyr

Masahito Shigemitsu, Yutaka W. Watanabe, and Hisashi Narita, 541–548.

西部北太平洋亜寒帯域における過去 14.5 万年間の堆積物中無機態窒素含量およびその同位体比変動

重光 雅仁, 渡辺 豊, 成田 尚史

西部北太平洋亜寒帯域において、過去 14.5 万年間を網羅する堆積物中の無機態窒素含量 (IN) およびその同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{IN}}$ ) を測定した。IN は氷期に高く、我々の既往研究で得られた風成塵濃度および有機炭素:有機窒素比 (C/ON) と正の相関を示した。風成塵濃度は、既往研究において、金属成分を用い火山性物質の汚染を除くことにより見積られた結果を用いている。したがって、IN は風成塵とともに供給され、火山性物質の汚染を受けていないことになる。このことは、西部北太平洋亜寒帯域においては、堆積物中 IN が火山性物質の汚染を考慮することなしに、風成塵の有効な代替指標 (プロキシ) となる可能性があることを示す。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{IN}}$  は氷期に低く、IN、風成塵濃度、C/ON と負の相関を示した。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{IN}}$  の変動を説明する機構としては、以下の三つが考えられる。(1) 水柱内と堆積物中間隙水内における粘土鉱物へのアンモニウムイオンの固定、(2) 難分解性有機物による IN 測定値の汚染、および (3) 西部北太平洋亜寒帯域に供給される IN 起源地域の変動と起源地域における気候変動に伴う土壌有機物窒素同位体比の変化。(3) については、陸上 (湖沼堆積物等) における気候変動のプロキシとして  $\delta^{15}\text{N}_{\text{IN}}$  が使える可能性があることを示す。

### Local advective mechanism for interdecadal variability in circulations driven by constant surface heat fluxes in idealized basins

Young-Gyu Park and Jin Hwan Hwang, 549–566.

理想的な海盆で一定の海面熱フラックスによって駆動される循環流の 10 年周期変動における局地的移流

海面熱フラックスによって駆動される循環における 10 年周期変動を調べるために GFDL MOM3 モデルを用いて、無風状態で一定の海面熱フラックスを与えて数値実験を行った。本論文では、検出された 10 年周期変動を 2 種類の局所的な水平移流で説明する。一つは北側境界での水温異常領域の南側における地衡流によって引き起こされた東西流異常である。北側境界にそった低 (高) 温異常は正 (負) の東西流異常を、さらに東西流異常の経路に沿った西岸からの暖水の移流を強化 (低減) することによって高 (低) 温異常を引き起こす。この水温と東西流の異常は平均的な東向流によって東岸境界に輸送される。高 (低) 温異常を持った正 (負) の東西流異常が東側境界に達すると沈降 (湧昇) 流異常を生じる。これらの鉛直流によって生じる渦度を消散するために、東側の摩擦境界層内に、沈降流に対しては北向き流が、湧昇流に対しては南向き流の異常が生じて、これが 10 年周期変動を説明するための第 2 の水平移流となる。北 (南) 向き流異常は反時計回りに海盆の周囲を循環し、暖水の移流を増大 (減少) させる。平均流によって東側境界に運ばれる高温 (低温) 異常はまた、正 (負) の東西流異常を引き起こした低 (高) 温異常を西側に移動させ 10 年周期変動の残りの半分を開始する。異常な沈降流や湧昇流が生じた時には密度場の異常として蓄えられた位置エネルギーが解放されて変動が維持され、順圧、傾圧不安定によるエネルギー供給は不要である。鉛直流の異常は北側境界と東側境界の北部で高い。これらの場所に浅い大陸斜面を付加すると鉛直流異常は抑止され変動は効果的に低減されるが、西側境界に大陸斜面を付加しても効果は無かった。

### Retrieval of surface wave parameters from SAR images and their validation in the coastal seas around Japan

Jian Sun and Hiroshi Kawamura, 567–577.

日本周辺沿岸海域における SAR 画像を用いた表面波パラメータの導出とそれらの検証

Jian Sun, 川村 宏

欧州遠隔探査衛星搭載合成開口レーダ (SAR) による日本沿岸海域映像モードデータから、表面波の波高と波向きを導出する手法を開発した。風波卓越ケースとうねり卓越ケースを SAR データから求めた風速  $=6 \text{ m s}^{-1}$  を閾値として区別し、両者の非線形性が異なることを考慮して SAR スペクトルをどちらかの表面波スペクトルに変換した。風波卓越スペクトル導出に用いるカットオフ波長は有義波高の平方根に比例したが、これは過去の研究結果と整合する。SAR 部分画

像と沿岸設置波浪計による表面波パラメータを用いて、66個の検証用データを作成したが、うねり卓越ケースは57個、風波卓越ケースは9個であった。SAR 導出有義波高は現場観測とよく一致し、両者のバイアスは0.09 m、残差標準偏差は0.61 m、相関係数は0.78であった。波向きの平均絶対偏差は18.4度となり、この一致の程度は波高に依存しない。本研究により、開発したスキームで求めたSAR表面波スペクトルは、日本周辺沿岸海域の表面波観測に活用できることがわかった。

### Global surface layer salinity change detected by Argo and its implication for hydrological cycle intensification

Shigeki Hosoda, Toshio Suga, Nobuyuki Shikama, and Keisuke Mizuno, 579–586.

アルゴ観測網によって得られた全球表層塩分変化および水循環強化の示唆

細田 滋毅, 須賀 利雄, 四竈 信行, 水野 恵介

我々は、全球に展開されたArgo観測網を用いて全球表層塩分分布を示した。さらにArgo観測網による2003–2007年平均の塩分分布と、World Ocean Database 2005による1960–1989年平均の塩分分布との比較を行った。その結果、北大西洋亜寒帯域を除いて、亜寒帯・熱帯域ではより低塩分に、亜熱帯域ではより高塩分となる傾向が見られた。つまり、Argo観測網による表層塩分は、約30年前と比較して元々低塩分(高塩分)の海域ではより低塩化(高塩化)しており、低・高塩分パターンがより明確化していた。Argo観測網による各年の塩分分布を調べたところ、この明確化したパターンは、全球的に少なくとも2003年から2007年まで持続していた。さらに、簡単なボックスモデルを用いて、蒸発・降水変化をいくつかの仮定のもとに概算したところ、約30年前と比較して全球平均で数%水循環が強化しているという示唆が得られた。

## Number 5

### Descending surface water at the Antarctic marginal ice zone and its contribution to intermediate water: An ice-ocean model

Yuri Hiraike and Motoyoshi Ikeda, 587–603.

海氷海洋結合モデルを用いた南極海氷縁域での表層水の沈降とその中層水における役割

平池 友梨, 池田 元美

本研究では、海氷面と海水面に対する風応力の違いによって生じる氷縁域(MIZ)で独特の物理現象であるEkman収束(ECMIZ)に注目した。南極中層水(AAIW)形成や二酸化炭素吸収の観点から、海氷海洋結合モデルを用いて、その強さや分布を調べた。大西洋と太平洋では7月から10月に海氷の融解と同期して強いECMIZが起きたが、背景の風が強い発散場を形成しているインド洋では非常に弱かった。人工トレーサー実験によるMIZでの表層水輸送量の解析から、ECMIZと大気大循環の経年変動である南極環状モードの相関を示した。環状モードの強い2001年の輸送量は環状モードの弱い2000年の1.4倍であり、どちらの年も大西洋の輸送量は太平洋の2倍であった。等密度面混合プロセスに基づいた考察を加えると、大西洋の低温低塩なAAIWの形成に効果的であることが示唆された。すなわち、ECMIZが海氷の融解による低塩分の表層水を沈降させ、AAIW形成において重要な役割を果たす可能性が示唆された。

### Surface heat fluxes during hot events

Huiling Qin and Hiroshi Kawamura, 605–613.

ホット・イベント時の表面熱フラックス

Huiling Qin, 川村 宏

超高温海面水温(SST)を伴う短期・大規模現象であるホット・イベント(HE)時の熱フラックスを、衛星観測や再解析データなどの海面フラックスデータセットを用いて調べた。HE時のトライトンブイによる現場観測データから求めた熱フラックスを用いてそのデータセットの検証を行ったところ、各フラックス要素の精度(バイアス±残差標準偏差)は、正味短波放射 $20 \pm 45.0 \text{ W m}^{-2}$ 、正味長波放射 $-9 \pm 12.3 \text{ W m}^{-2}$ 、潜熱 $-2.3 \pm 31.5 \text{ W m}^{-2}$ 、顕熱 $1.5 \pm 5.0 \text{ W m}^{-2}$ であった。HEの統計解析から、HE期間中には大きな正味短波放射( $246 \text{ W m}^{-2}$ )が保たれた後 $220 \text{ W m}^{-2}$ へと減少し、また小さな潜熱( $100 \text{ W m}^{-2}$ )が続いた後 $124 \text{ W m}^{-2}$ へと増加した。また、HE期間中の出現頻度ヒストグラムの極大は、正味短波放射が $270 \text{ W m}^{-2}$ 、潜熱フラックスが $90 \text{ W m}^{-2}$ であった。HEの発展は形成、成熟、終了期からなる。海洋がHE形成期に受け取る平均熱量は $60 \text{ W m}^{-2}$ に達し、インド洋・太平洋暖水域が受け取る年間平均熱量 $0\text{--}25 \text{ W m}^{-2}$ より遙かに大きい。先行研究でHE期間にSSTが大きな日変動を伴って増加することが衛星および現場計測で観測されていたが、HE形成期に受け取る大きな熱量は、そのようなSST現象を引き起こしうるものと考えられる。

### Seasonal variations of shelf circulation in Hidak Bay, Hokkaido, Japan, with an inter-

pretation of the migration route of juvenile walleye pollock

Ana Luisa Rosa, Yutaka Isoda, and Naoto Kobayashi, 615–626.

北海道日高湾の大陸棚上に分布するスケトウダラ稚魚の輸送経路に関連した大陸棚循環流の季節変化

Ana Luisa Rosa, 磯田 豊, 小林 直人

日高湾湾奥に位置する噴火湾湾口付近の大陸棚域は、スケトウダラ (*Theragra chalcogramma*) の冬季主産卵場であり、産卵後の稚魚は日高湾の大陸棚上を東向きに輸送され、養育場である道東海域まで至ることが知られている。このような稚魚輸送経路上の沿岸流の季節変化を明らかにすることを目的に、2004年4月から2006年4月までの期間、日高湾大陸棚上の4地点において係留流速観測を実施した。これらの係留地点を沿岸近傍に設定することにより、風駆動による流速成分を除去した循環流を推定することができる。まず、冬季の北西季節風により駆動される沿岸流成分(吹送流成分)を推定すると、それは日高湾大陸棚上の強い時計回り循環流となる。しかし、実際に観測された流速は推定された吹送流よりも十分に小さく、これは吹送流に対して逆向き流(反時計回り循環流)となる大陸棚に捕捉された沿岸親潮流との重ね合わせの結果と理解される。夏季に入ると、日高湾の北東側大陸棚域では沿岸流の二分岐が生じる。一つは津軽暖流の時計回り渦流形成(Tsugaru Gyre)に伴う南東流、もう一つはこの渦流から分岐した北西向きの分派流である。このような沿岸流の季節変化をもとに、スケトウダラ稚魚の輸送過程を考察する上での2つの新しい知見を提示する：(1) 冬季から春季の東向き平均流は微弱であるために、日高湾大陸棚に沿った稚魚輸送は非常にゆっくりとしたものになること、(2) 初夏から始まる沿岸流の二分岐化によって、産卵時期が早い稚魚ほど東道海域(養育場)に輸送され易くなることが推測され、稚魚の生き残りに対して産卵時期の選択が生じること。

Comparison of the effects of short-term UVB radiation exposure on phytoplankton photosynthesis in the temperate Changjiang and subtropical Zhujiang estuaries of China

Weihua Zhou, Kedong Yin, Xiangcheng Yuan, and Xiuren Ning, 627–638.

中国長江および珠江の河口域における植物プランクトンの光合成に及ぼす短時間 UVB 照射の影響の比較

温帯域の東シナ海の長江河口(CRE-ECS)と亜熱帯域の南シナ海の珠江河口(ZRE-SCS)において、2002年8月から2003年4月にかけて植物プランクトン群集の光合成に

与える長中波紫外線(UVB, 280–315 nm)の影響を調べた。短期間のUVB照射の影響を、サンプルに3種の自然光(1) UVBを含む自然光、(2) UVBを含まない自然光、(3) 自然光に人工的にUVBを付加、を照射することにより調べた。CRE-ECSでは、自然光UVBは8月と2月に表層の植物プランクトンの光合成を約28%減少させたが、ZRE-SCSにおける9月と10月の阻害は、22%であった。CRE-ECSにおいて表層混合層より下部の植物プランクトンに表層のUVBを暴露させた場合、より強いUVB阻害を示した。しかし、表層混合層内の植物プランクトンは強いUVB阻害は示さなかった。このことは表層における混合がUVBの影響を緩和していることを示唆している。ZRE-SCSにおいては表層の植物プランクトンは1月(晴天)に強い光阻害を示した。しかしながら、4月(曇天)にはUVB阻害をほとんど示さなかった。UVBを除去した短時間の培養は、ZRE-SCSの2地点においてChl *a*の増加を示したが、UVB存在下において他の地点ではChl *a*が大きく減少した。対称的にCRE-ECSにおいては、同様の培養実験でUVB除去によりChl *a*は減少し、他の2地点においてChl *a*のわずかなUVB阻害が観測された。両河口間におけるUVB阻害の違いについて栄養塩の存在量が重要である。ZRE-SCSではすべての栄養塩について比較的高濃度である一方で、CRE-ECSの1地点ではリン酸塩が0.21 μMの低濃度であった。これらの結果から、植物プランクトンのUVB変動に対する応答は温帯域の方が亜熱帯域より敏感であることが明らかとなった。

Observation of the bottom boundary layer off the Soya Warm Current

Miho Ishizu and Yujiro Kitade, 639–645.

宗谷暖流沖での海底境界層の観測

石津 美穂, 北出 裕二郎

宗谷暖流沖での海底境界層の特性を調べるために、紋別沖約30 kmの地点において、2005年8月7日から9月2日の約3週間、流速、水温、圧力センサーを付けた海底設置型係留観測を実施した。係留観測は、海底エクマンの偏向および輸送の存在を明確に示した。岸沖方向だけでなく、岸沿い方向において地衡流の順圧成分を見積る事により、海底境界層で観測された流速鉛直プロファイルが古典的理論解と整合的であることを示した。本結果は、宗谷暖流沖の冷水帯形成機構の一つとして挙げられている「海底エクマン輸送の収束」説を支持しており、冷水帯形成につながる湧昇の鉛直輸送量は(0.12–0.25) Svと見積られた。観測期間での平均水温の鉛直プロファイルからは、海底境界層において均一な水温層の下にわずかに高温な水温層がある事が示された。このこと

から、海底エクマン輸送による斜面下方への移流が海底境界層内に宗谷暖流水を供給し、 $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  のオーダーの渦拡散係数が海底混合層の海洋構造を維持していると推測した。

#### Detecting red tides in the eastern Seto Inland Sea with satellite ocean color imagery

Wataru Takahashi, Hiroshi Kawamura, Takuo Omura, and Ken Furuya, 647–656.

衛星海色観測による瀬戸内海東部の赤潮検出  
高橋 理, 川村 宏, 大村 卓朗, 古谷 研

赤潮頻発海域である瀬戸内海東部を対象とし、衛星海色データを用いた赤潮検出手法を開発した。本研究では、赤潮が起こる前後の海色、あるいは赤潮域周辺の海色を赤潮の背景となるバックグラウンド海色と定義し、赤潮域をこのバックグラウンド海色からのスペクトル偏差として検出する手法を提案した。赤潮の検出条件は、(1) 輝度スペクトルが 555 nm 帯にピークを持つ、(2) 490~555 nm 帯のスペクトルの傾きが 443~490 nm 帯のそれよりも大きい、(3) 443~555 nm 帯の輝度が対応するバックグラウンド海色よりも小さい、とした。この条件を用いて、大阪湾の浅海定線データに対応する SeaWiFS データから赤潮を検出した結果、83%の精度で赤潮/非赤潮域を判定することができた。また、航空機により観測された着色域と衛星データより検出された赤潮域は概ね一致し、提案した手法が瀬戸内海東部で有効であることが示された。

#### Variations in turbulent energy dissipation and water column stratification at the entrance of a tidally energetic strait

Shiho Kobayashi, Eisuke Hashimoto, Masayuki Nagao, and Yoshio Takasugi, 657–664.

潮流の強い海峡の開口部付近における乱流エネルギー逸散および水柱成層構造の変動

小林 志保, 橋本 英資, 長尾 正之, 高杉 由夫

自由落下式乱流微細構造プロファイラ (TurboMAP) および超音波ドップラー流速計 (ADCP) を用いて、瀬戸内海海峡部 (猫瀬戸) 入口において、潮流、乱流エネルギー逸散率および物理構造の観測を行った。猫瀬戸入口における乱流エネルギー逸散率は、 $M_4$  周期ではなく  $M_2$  周期で変化していた。下げ潮流時には乱流エネルギー逸散率が增大するが、上げ潮流の増大は比較的穏やかであった。この結果は、コントロールボリューム法を用いて潮汐エネルギーの損失が上げ潮流時と下げ潮流時とで異なることを示した高杉 (1993) の結果と一致している。下げ潮流時には海峡内において大きな

乱流エネルギー逸散が生じ、さらに海峡外の水の性質にも大きな影響を及ぼすことが示唆された。

#### コメント

A wave averaged energy equation: Comment on “Global Estimates of Wind Energy Input to Subinertial Motions in the Ekman-Stokes Layer” by Bin Liu, Kejian Wu and Changlong Guan

Jeff A. Polton, 665–668.

波長平均したエネルギー方程式: Bin Liu, Kejian Wu and Changlong Guan 氏らの論文 “Global Estimates of Wind Energy Input to Subinertial Motions in the Ekman-Stokes Layer” に対するコメント

Liu *et al.* (2007) は、海面の重力波の存在によってエクマン層内のエネルギー収支がどう変化するかを定式化し、その効果の全球的な分布を実際のデータから求めた。本論文では、Liu *et al.* (2007) の議論の基礎となるエネルギー方程式の定式化について論じる。

#### リプライ

Wind energy input to the Ekman-Stokes layer:

Reply to comment by Jeff A. Polton

Bin Liu, Kejian Wu, and Changlong Guan, 669–673.  
エクマン-ストークス層への風エネルギーの供給: Jeff A.

Polton 氏のコメントへのリプライ

本論文では、Polton (2009) の示唆を受け、風と風波によるエクマン-ストークス層へのエネルギー注入量の見積りを修正し、全球の風エネルギー量を Liu *et al.* (2007) のデータと手法を用いて再計算した。エクマン-ストークス層への全エネルギー注入量は 2.22 TW と推定され、そのうち風から直接注入されるものが 1.93 TW、風波に起因するものが 0.29 TW であった。Liu *et al.* (2007) での推定と比較すると、風波に起因するエネルギー注入量が 0.03 TW 増加した。

#### Special Section:

#### PICES North Pacific Carbon Synthesis

Features of coastal upwelling regions that determine net air-sea  $\text{CO}_2$  flux

Debby Ianson, Richard A. Feely, Christopher L. Sabine, and Lauren W. Juraneck, 677–687.

### 正味の大気-海洋二酸化炭素フラックスを決定する沿岸湧昇域の特性

全球での正味の大気-海洋二酸化炭素フラックスの定量における沿岸域の影響には不確定性が大きい。東岸境界流域は大気-海洋の二酸化炭素分圧差が大きく、かなりの大きさの二酸化炭素吸収域と考えられる。この海域では、低い二酸化炭素分圧の原因となる高い生物生産によって、大陸棚上の底層水に外洋に比べて高い栄養塩類や無機炭素が蓄積している。本報ではボックスモデルを北米太平洋沿岸湧昇域の最北部に適用して、同海域の通年での正味二酸化炭素フラックスにおける冬季の役割を調べ、夏季の観測データと比較した。また、湧昇流や沈降流が通年の正味二酸化炭素フラックスにおける寄与も見積った。その結果、冬季に起こる沈降流が二酸化炭素放出量を制限していることがわかった。さらに、北米太平洋沿岸の3つの海域を調べたところ東岸境界流域の二酸化炭素フラックスには湧昇流と沈降流の強度が重要な役割を果たしており、その他大陸棚の広さなどの要素も重要であることがわかった。

### Seasonal and interannual variability of oceanic carbon cycling in the western and central tropical-subtropical Pacific: A physical-biogeochemical modeling study

Masahiko Fujii, Fei Chai, Lei Shi, Hisayuki Y. Inoue, and Masao Ishii, 689-701.

物理・生物地球化学結合モデルを用いた西部および中部熱帯・亜熱帯太平洋における海洋炭素循環の季節・経年変動に関する研究

藤井 賢彦, Fei Chai, Lei Shi, 吉川 (井上) 久幸, 石井 雅男  
熱帯・亜熱帯太平洋における海洋炭素循環は様々な時空間スケールの物理過程の影響を受けるが、観測・モデリングともに先行研究が限られるため、大気・海洋間 CO<sub>2</sub> フラックスの支配機構の全容は未だ明らかになっていない。本研究では、3次元物理・生物地球化学結合モデルを用いて、1990年から2004年までの熱帯・亜熱帯太平洋における海洋表層のCO<sub>2</sub>分圧と大気・海洋間CO<sub>2</sub>フラックスの再現を試みた。モデルで得られた同海域における物理・生物地球化学過程の空間的な差異は概ね、従来の観測結果と整合的であった。つまり、中部熱帯・亜熱帯太平洋に比べて西部熱帯・亜熱帯太平洋では相対的に高水温で溶存無機炭素濃度やCO<sub>2</sub>分圧が低いことや、熱帯・亜熱帯太平洋全般においてこれらの測定項目に顕著な季節・経年変動が存在することなどが現実的に再現された。また、中部熱帯太平洋において風の変動が大気・海洋間CO<sub>2</sub>フラックスの変動に少なからず寄与してい

ることがモデル結果から示唆されたが、その寄与は7%程度と、従来のモデル研究で得られた結果(30%程度)に比べて小さいものであった。1990年から2004年にかけて、溶存無機炭素は全対象海域で増加傾向を示した一方、水温は亜熱帯太平洋や西部熱帯太平洋では増加したが中部熱帯太平洋では減少した。その結果、CO<sub>2</sub>分圧の経年変動は海域によって違いが見られた。CO<sub>2</sub>分圧の時間変動は主に水温と溶存無機炭素濃度のそれに支配されることがモデル結果より示唆されたが、CO<sub>2</sub>分圧を支配するその他の要因、つまり塩分や全アルカリ度による寄与を明らかにするためには、長期間の観測、および大気・海洋間CO<sub>2</sub>フラックスの経年変動をより高い精度で見積ることを可能にする渦解像度モデルによる解析が求められる。

### Seasonal and interannual variability of carbon cycle in South China Sea: A three-dimensional physical-biogeochemical modeling study

Fei Chai, Guimei Liu, Huijie Xue, Lei Shi, Yi Chao, Chun-Mao Tseng, Wen-Chen Chou, and Kon-kee Liu, 703-720.

3次元物理-生物地球化学モデルを用いた南シナ海の炭素循環の季節・経年変動に関する研究

南シナ海の栄養塩や植物プランクトンの動態、および炭素循環は東南アジアモンスーンの影響をうけて顕著な季節・経年変動を示す。本報では太平洋全域に適用可能な物理-生物地球化学結合モデルによって物理的変動に対する生態系と炭素循環の応答を調べた。物理循環モデルROMSの空間分解能は50 kmでNCEPによる1990年から2004年までの日々の大気海面フラックスデータで駆動した。生物地球化学過程の表現には複数の栄養塩類と生物群集による詳細な炭素循環の動態を記述するCoSINEモデルを用いた。これらの結合モデルにより南シナ海時系列定点(SEATS)の様々な観測結果を再現することができた。南シナ海全領域の大気-海洋二酸化炭素フラックスは大きな季節変動を示し、春・夏・秋季には大気への放出が、冬季には吸収が認められた。南シナ海全域の通年での平均放出量は+0.33 mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>となる。季節変動の主要因は生物活動ではなく水温であった。ベトナム沿岸やルソン島北西部における大きな変動には水温、季節的湧昇、黒潮の流入が関与していた。夏季ベトナム沿岸のクロロフィルaの経年変動とNINO<sub>3</sub>海域の表面水温指数との間に逆相関が見られることは南シナ海の炭素循環と基礎生産が太平洋-東アジアに渡る大規模な気候変動との間にテレコネクションを持つことを示唆している。

## Number 6

**A numerical study of the seasonal circulation in the Seto Inland Sea, Japan**

Pil-Hun Chang, Xinyu Guo, and Hidetaka Takeoka, 721–736.

瀬戸内海における海水循環の季節変動に関する数値的研究  
張 弼勳, 郭 新宇, 武岡 英隆

瀬戸内海における海水循環の季節変化を調べるため、高解像度の3次元数値モデルを用いて実験を行った。長期観測データに基づく表層流や水温・塩分分布と比較することで、モデルの信頼性を評価した。モデルは明瞭な季節変化を示しており、観測結果をよく再現した。夏季に灘部の成層と海峡付近での鉛直混合が見られた。また、加熱期である5月から一部の灘では底部冷水が生成され、海面冷却が始まる秋季に消滅した。このドーム型の底部冷水の生成に伴い、低気圧性の渦が灘部の表層で発達した。また、淡水流入が増加する夏季の内海では重力循環流が発達し、灘部の低気圧性の渦と共存する。さらに、淡水流入のない数値実験より、重力循環流は底部冷水が消滅する秋季まで持続し、秋季に支配的な循環になることがわかった。冬季は鉛直混合が発達し、風が流れに強く影響している。強い北西風により、各灘の浅い領域では風と同じ向きの流れが、深い領域では風と逆向きの流れが起こる。その結果、鉛直平均流動場で見ると、周防灘では高気圧と低気圧性の二つの渦が、燧灘では二つの低気圧性の渦が、そして播磨灘では高気圧性の渦が形成される。

**Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis**

Yasumasa Miyazawa, Ruochao Zhang, Xinyu Guo, Hitoshi Tamura, Daisuke Ambe, Joon-Soo Lee, Akira Okuno, Hiroshi Yoshinari, Takashi Setou, and Kosei Komatsu, 737–756.

渦解像海洋15年再解析データにおいて検出された北西太平洋の水塊変動

宮澤 泰正, 章若潮, 郭新宇, 田村 仁, 安倍 大介, Joon-Soo Lee, 奥野 章, 吉成 浩志, 瀬藤 聡, 小松 幸生

本論文は、北西太平洋の海流および水塊の変動を表現する Japan Coastal Ocean Predictability Experiment 2 (JCOPE2) 海洋再解析データについて、データ利用者の参考となるように、その基本的な内容と精度を記述したもので

ある。1993年から2007年までの黒潮・黒潮続流、親潮、中規模渦等の海洋変動を記述することを目的として、北西太平洋における水平解像度1/12度再解析データを作成した。渦解像海洋大循環モデルに3次元変分データ同化手法を組み合わせることによって作成された再解析データは、平均的な水塊特性と、黒潮・黒潮続流および親潮沿岸分枝の経年変動をよく再現した。再解析データの解析から、黒潮続流第一峰における平均運動エネルギーの大きさおよび親潮沿岸分枝の南下の経年変動は、親潮水および北太平洋中層水分布の経年変動と強く関連していることがわかった。さらに、黒潮続流のレジーム変化に伴う流軸の南北移動が、黒潮続流再循環域における亜熱帯モード水形成の10年スケール変動に影響することもわかった。

**Seasonal variability in plankton food web structure and trophodynamics in the neritic area of Sagami Bay, Japan**

Koichi Ara and Juro Hiromi, 757–779.

相模湾沿岸域におけるプランクトン生態系構造と栄養動態の季節変遷

荒 功一, 廣海 十朗

相模湾沿岸域の水深0~10m層内でのピコ・ナノ・マイクロ・メソプランクトン(主にカイアシ類)の出現密度、バイオマス、生産率、餌要求量に基づく生態系構造と栄養動態を2003年1月~2005年12月の期間に調べた。全プランクトン群集の平均バイオマスは春・夏季に高かった。一次生産ならびに従属栄養生物の生産率・餌要求量は夏季に高かった。本研究期間中、小型従属栄養生物(バクテリア: BA, 従属栄養性ナノ鞭毛虫: HNF, 微小動物プランクトン: MZ)のバイオマス・生産率・餌要求量はカイアシ類二次(CSP)・三次生産者(CTP)の値よりもかなり高く、このことは古典的食物連鎖よりも微生物食物連鎖が植物プランクトン~CSP・CTPへの炭素フローの主経路だったことを示す。特に夏・秋季には微生物食物連鎖(ピコ・ナノ植物プランクトン/BA-HNF/MZ-カイアシ類)が卓越し、冬・春季には間接経路(マイクロ植物プランクトン-MZ-カイアシ類)が卓越したことが示唆された。

**Trophic coupling between *Synechococcus* and pigmented nanoflagellates in the coastal waters of Taiwan, western subtropical Pacific**

Yun-Chi Lin, An-Yi Tsai, and Kuo-Ping Chiang, 781–789.

### 西部亜熱帯太平洋台湾沿岸水中におけるシネココッカスと植物性ナノ鞭毛虫間の捕食関係

シネココッカスと植物性ナノ鞭毛虫 (Pigmented Nanoflagellates: PNFs) 間の捕食関係を明らかにするため 2005 年 6 月から 2006 年 1 月まで台湾の北東沿岸の定点で段階的サイズ分画培養実験を行った。異なる体サイズ ( $2\ \mu\text{m}$  以下,  $5\ \mu\text{m}$  以下,  $10\ \mu\text{m}$  以下,  $20\ \mu\text{m}$  以下) の生物を除去することにより食物網を寸断し, 異なるサイズのナノ鞭毛虫が存在する中でのシネココッカスの生長速度と捕食速度を推定した。シネココッカスの生長速度は,  $-0.016$  から  $0.051\ \text{h}^{-1}$  であり, 主に水温によって決まっている。PNFs とシネココッカスの捕食関係においては, 両者のサイズと相対的生物量の関係に加えて, 群集構造が重要な役割を持っている。台湾北東海岸における段階的捕食関係の特徴としては, 1) 温暖期の夜の高い捕食速度, 2) 通常シネココッカスの生物量が捕食限界値 ( $6 \times 10^4\ \text{cells mL}^{-1}$ ) を超えている, 3)  $5\ \mu\text{m}$  以上の PNFs に対する  $5\ \mu\text{m}$  以下の PNFs の比が 1:1 から 2:1 であること, などが挙げられる。

### Surface current structure of the Tsushima Warm Current region in the Japan Sea derived by satellite-tracked surface drifters

Tatsuro Watanabe, Daisuke Simizu, Kou Nishiuchi, Toru Hasegawa, and Osamu Katoh, 791–801.

表層漂流ブイによる日本海対馬暖流域の表層流動構造  
渡邊 達郎, 清水 大輔, 西内 耕, 長谷川 徹, 加藤 修

2004 年から 2008 年までに日本海に投入した 84 個の表層漂流ブイデータと WOCE/SVP により 1991 年から 2008 年までに投入された 288 個の表層ブイデータを用いて, 日本海対馬暖流域の表層流動場のグリッドデータセットを作成した。平均流速場と平均運動エネルギー (KE) 場には, 対馬暖流の 3 分枝構造の特徴とその季節変動が明瞭に示されている。一方, 渦運動エネルギー (EKE) と平均運動エネルギーの比率 ( $R = \text{EKE}/\text{KE}$ ) を取ることにより, 相対的に渦運動エネルギーが大きい四つの海域の存在が明らかとなり, 隠岐島東方海域ではこの比率が特に高かった。隠岐島東方海域はほぼ同じ位置に暖水渦と冷水渦が頻りに形成されており, そのために渦運動エネルギー比率が高くなっていることが示唆された。また, 暖水渦・冷水渦の形成は, 対馬暖流第 2 分枝の流路が沿岸を通るか沖合を通るかと言うことと密接に関連していることが示唆された。

### Different spreading of Somali and Arabian coastal upwelled waters in the northern Indian Ocean: A case study

Vinu Valsala, 803–816.

北部インド洋におけるソマリアおよびアラビア沿岸湧昇水の分布の違いに関する事例研究

ソマリアおよびアラビア沿岸域での湧昇水が北部インド洋内に広がる経路を, 気候値の状況に近い 2000 年の海洋再解析データを用いたトレーサーの輸送実験により同定した。その結果, ソマリア沿岸の湧昇水とアラビア沿岸のその輸送経路は大きく異なることがわかった。ソマリア沿岸の湧昇水は, まずアラビア海西部で時計回りに循環しながら鉛直方向に混合し, その後北部赤道域を通じて東部インド洋へと移流される。一方, アラビア沿岸の湧昇水は, 北部アラビア海で時計回りに循環してアラビア海中部を南下した後, 東部インド洋へと輸送される。夏季の南西モンスーンによる表層混合とソマリ沿岸域での渦擾乱に伴う水平流速の鉛直シアーにより, ソマリ沿岸での湧昇水の 25% が下層水と混合し, その後の輸送経路に影響を与えていることがわかった。同様の混合過程はアラビア沿岸域での湧昇水の輸送経路には影響を与えていない。これらの混合過程は, アラビア沿岸での湧昇水に比べ, ソマリ沿岸での湧昇水が北部インド洋域へ広がる度合いを速めている主な要因と考えられる。

### Coastal upwelling along the north coast of Papua New Guinea and SST cooling over the Pacific warm pool: A case study for the 2002/03 El Niño event

Takuya Hasegawa, Kentaro Ando, Keisuke Mizuno, and Roger Lukas, 817–833.

パプアニューギニア北岸の沿岸湧昇と太平洋暖水プール上の海面水温冷却: 2002/03 年エルニーニョ現象に関する事例研究

長谷川 拓也, 安藤 健太郎, 水野 恵介, Roger Lukas

エルニーニョ発生前における太平洋暖水プール西側 (western side of the mean location of the Pacific warm pool; WSWP) の海面水温冷却機構に注目し, トライトンブイデータ, CTD データ, 衛星データ, 歴史的な海面水温データおよび高解像度海洋大循環モデルの過去再現実験結果を用いて, 2002/03 年エルニーニョ発生前の大気海洋変動に焦点を当てた解析を行った。観測データでは, 2001 年 12 月にパプアニューギニア (PNG) 北岸での沿岸湧昇に関係した低海面水温域が見られ, その後この低海面水温域は北東方向に拡大して WSWP の広い範囲に分布する様子が見られた。また同時期に, 沿岸湧昇を引き起こす北西風が PNG 北岸沿いに分布していた。トライトンブイデータを用いた熱収支解析からは, WSWP での混合層水温の冷却に対して東西熱移流の寄

与が卓越することが示された。この東西熱移流は東向流を伴い、ブイ設置点の西側に冷却源があることを示唆している。一方、海面熱フラックスは昇温を導く傾向を示した。海洋大循環モデル出力の解析からも PNG 北岸の湧昇に關係する低海面水温域とその北東方向への拡大が、東西熱移流を通じて WSWP での海面水温冷却に寄与していることが示唆された。さらに、歴史的な海面水温データや海洋大循環モデル実験結果から、1982/83 年や 1997/98 年に発生した大規模なエルニーニョ現象に関しても同様の海面水温冷却機構が働いたことが示唆された。この WSWP 上の低海面水温は、暖水域東部の高海面水温とともに西部赤道域に正の海面水温東西勾配を生じさせる。この海面水温勾配は、西部赤道域における西風の強化を通じて 2002/03 年エルニーニョ発生に寄与した可能性がある。

#### Variation of dissolved organic matter and fluorescence characteristics before, during and after phytoplankton bloom

Marut Suksomjit, Seiya Nagao, Kazuhiko Ichimi, Tatsuo Yamada, and Kuninao Tada, 835–846.

植物プランクトンブルームの前後における溶存有機物とその蛍光特性の変化

Marut Suksomjit, 長尾 誠也, 一見 和彦, 山田 達夫, 多田 邦尚

瀬戸内海東部の屋島湾で、植物プランクトンのブルーム期間中の溶存有機物とその蛍光特性の変化について検討した。2005 年の植物プランクトンブルーム期では、溶存有機炭素・窒素、有色溶存有機物、および紫外外部吸収 (UV260) の増加が観察された。一方、2006 年のブルームでは、溶存有機炭素・窒素と有色溶存有機物がわずかに増加しただけであった。溶存有機物量と植物プランクトン現存量との間には、明瞭な関係は認められず、これは溶存有機物が様々な有機物質で構成されているためだと思われる。そこで、3 次元励起蛍光スペクトル法により溶存有機物の特性解析を行った結果、植物プランクトンブルーム期に生産された有機物には、チロシン様物質、トリプトファン様物質、およびフミン様物質が含まれていると考えられた。さらに、沿岸海域における溶存有機物の生産には植物プランクトンが深く係っているが、溶存有機物の蓄積は特にブルームを形成する植物プランクトンの種類に依存していることが明らかになった。以上の結果より、植物プランクトンは、溶存有機物の生産者として、沿岸海域における溶存有機物の挙動に重要な役割を果たしていると考えられた。

#### Biomarker records from core GH02-1030 off

#### Tokachi in the northwestern Pacific over the last 23,000 years: Environmental changes during the last deglaciation

Masaki Inagaki, Masanobu Yamamoto, Yaeko Igarashi, and Ken Ikehara, 847–858.

北西太平洋十勝沖 GH02-1030 コアの過去 23,000 年間の

バイオマーカー記録: 最終融氷期における環境変化  
稲垣 正樹, 山本 正伸, 五十嵐 八枝子, 池原 研

GH02-1030 コアのバイオマーカー (アルケノン, 長鎖 n-アルカン, 長鎖 n-脂肪酸, リグニン由来物質) を分析することにより、北西太平洋北日本縁辺域十勝地方における海洋および陸上の環境変化を調べた。アルケノン  $U_{37}^{k'}$  から求めた水温は、21 ka 前後の最終氷期最盛期で約  $10^{\circ}\text{C}$  であり、コアトップ試料の示す温度 ( $12^{\circ}\text{C}$ ) より  $2^{\circ}\text{C}$  低い。最終融氷期におけるこの水温低下は、花粉組成から求められた十勝地方における気温低下 ( $4^{\circ}\text{C}$  以上) よりも小さい。この違いは、アルケノン生産の季節的シフトにより生じる復元水温のバイアス (最大  $2.5^{\circ}\text{C}$ ) により説明される。アルケノン水温は最終融氷期において顕著に低い。この最終融氷期における水温低下は、黒潮続流・親潮混合域に特徴的であるので、黒潮続流・親潮境界の南下を反映していると考えられる。17 ka から 12 ka にかけての層準で、リグニン由来物質、長鎖 n-アルカン、長鎖 n-脂肪酸の濃度が高く、陸起源有機物の寄与が高かったことが示された。最終融氷期では、海進に伴い、海岸浸食が活発化し、陸上土壌が多く海底に運搬された可能性と、海岸平野の発達に伴い、高等植物遺骸がより効果的に河川水に流入していた可能性が考えられる。

#### Research and development of the new generation sea surface temperature for open ocean (NGSST-O) product and its demonstration operation

Futoki Sakaida, Hiroshi Kawamura, Shin Takahashi, Teruhisa Shimada, Yoshimi Kawai, Kohitaro Hosoda, and Lei Guan, 859–870.

新世代海面水温-外洋版 (NGSST-O) の研究開発とそのデモンストレーション運用

境田 太樹, 川村 宏, 高橋 慎, 島田 照久, 川合 義美, 細田 皇太郎, Lei Guan

全球海洋データ同化実験 (GODAE) 高解像度海面水温パイロット・プロジェクトのデモンストレーション運用の一環として、新世代海面水温-外洋版 (NGSST-O) プロダクトのリアルタイム作成と配布を、2003 年 9 月に開始した。衛星に搭載された赤外放射計 (AVHRR, MODIS) とマイクロ波放射計 (AMSR-E) の計測から得られる海面水温 (SST) 観測

値を客観的に融合し、広範囲 (13–63°N, 116–166°E) の海面水温分布 (NGSST-O プロダクト) を毎日生成する。このプロダクトは、品質管理を行った高解像度 (0.05 度格子) の雲無し海面水温デジタル値である。日本の宇宙機関 (JAXA) と共同で開発された NGSST-O デモンストレーション運用システムは、6 年間にわたって欠測無く連続してデータを生成している。漂流ブイによる現場観測海面水温との比較によれば、NGSST-O の標準誤差はだいたい摂氏 0.9 度に保たれている。

**Vertical double silicate maxima in the sea-ice reduction region of the western Arctic Ocean: Implications for an enhanced biological pump due to sea-ice reduction**

Shigeto Nishino, Koji Shimada, Motoyo Itoh, and Sanae Chiba, 871–883.

西部北極海の海水減少に伴うケイ酸塩の二層極大の形成：  
海水減少による生物ポンプ促進の可能性

西野 茂人, 島田 浩二, 伊東 素代, 千葉 早苗

近年海水が減少している西部北極海で、2004 年「みらい」の観測により、従来は見られなかったケイ酸塩の二層極大をとらえた。この二層極大の形成過程と海水減少との関係を調べる。上層のケイ酸塩極大は  $N^{**}$  極小と一致し、脱窒素が起きている大陸棚域からの水の供給により形成されると考えられる。一方、下層のケイ酸塩極大は酸素極小やケイ酸塩/リン酸塩比の極大と一致していることから、珪藻遺骸が深層で分解されることにより生ずると考えられる。海水が多かった 1994 年の北極海横断観測では、下層のケイ酸塩極大は見られなかった。このことから、2004 年は海水減少に伴う水中の光の強化により生物活動が活発化し、増加した珪藻遺骸の分解により下層のケイ酸塩極大が顕著になったのであろう。ケイ酸塩の二層極大は海水減少域の至るところで見られるわけではなく、大陸棚域からの栄養塩が有光層に供給されるチユクチ海台の西側のみに見られる。

**Diatom grow faster using ammonium in rapidly flushed eutrophic Dokai Bay, Japan**

Kuninao Tada, Marut Suksomjit, Kazuhiko Ichimi, Yui Funaki, Shigeru Montani, Machiko Yamada, and Paul J. Harrison, 885–891.

河口循環流速の速い富栄養化海域洞海湾において見られたアンモニアによる珪藻類の高い増殖速度

多田 邦尚, Marut Suksomjit, 一見 和彦, 舟木 由衣, 門谷 茂, 山田 真知子, Paul J. Harrison

過度に富栄養化され、且つ、河口循環流の速度が速い洞海湾において、植物プランクトンの窒素源 ( $DIN: NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+$ ) の重要性について研究した。本湾では  $DIN$  濃度はしばしば  $100 \mu M$  を超え、その 40 から 70% を  $NH_4^+$  が占めている。湾奥から湾口に向かって、表層水中の塩分は増加し、栄養塩濃度は減少していた。しかしながら、その中で  $NO_3^- + NO_2^-$  の減少率は、他の栄養塩に比べて小さく、これは特に湾奥における植物プランクトンによる活発な  $NH_4^+$  の取り込みのためと考えられた。表層水のボトル培養実験を実施したところ、珪藻類が優占した現場の植物プランクトン群集は、 $NO_3^-$  ではなく、 $NH_4^+$  を取り込んでいた。この湾の優占種である 2 種の *Skeletonema* を分離し、室内実験において、 $NO_3^-$  と  $NH_4^+$  の 2 種の窒素源についてその増殖速度を測定した。2 種の *Skeletonema* は何れも、窒素源が  $NO_3^-$  よりも  $NH_4^+$  のときの方が高い増殖速度を示した。これらの結果は、富栄養化された本湾では、これらの珪藻類が  $NO_3^-$  ではなく  $NH_4^+$  を取り込むことによって高い増殖速度を獲得している可能性を示している。この  $NH_4^+$  による高い増殖速度は、河口循環流の速度が速い河口域において、これらの珪藻類が高い生物量を保つために、また、他の種に対する競争力を保つために重要であると思われる。