

平成22年6月21日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19310007  
 研究課題名（和文） 沿岸海底湧水系の淡水・熱輸送とその深層循環への影響－日本海モデル  
 研究課題名（英文） Fluxes of fresh water and heat of submarine groundwater discharge and their influence on the deep convection system: A case study in the Sea of Japan.  
 研究代表者  
 張 勁 (ZHANG, JING)  
 富山大学・理工学研究部（理学）・教授  
 研究者番号：20301822

研究成果の概要（和文）：本研究は、沿岸海底湧水（SGD）の淡水・熱フラックスに着目し、海洋大循環の1/10モデルである日本海をフィールドとして、高緯度海域における海水沈み込みへのSGDの影響解明を目的とした。降水のほとんどがSGDとして流出する利尻島及びその周辺海域、またオホーツク海に隣接するサロマ湖・能取湖を調査した結果、SGDが栄養塩など化学物質のみならず、淡水や熱輸送の重要なルートとして、海洋の成層構造/海洋循環に影響を及ぼしている実証が得られた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify the fluxes of fresh water and heat of submarine ground water discharge (SGD) and their influence on the deep convection system in the Japan Sea, which is recognized as a miniature model of the world oceanic general circulation. The following investigated areas were chosen for the case studies: Rishiri Island and its surrounding coastal area, where most of the precipitation flows out as SGD, and Lakes Saroma and Notoro, directly adjoining the Sea of Okhotsk. Results indicate, for the first time, that SGD plays an important part of fresh water and heat transport to the ocean especially in high latitudes, which can then affect the stratified structure/circulation of the ocean, and the pathways for chemical substances such as nutrients.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2008年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2009年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	15,700,000	4,710,000	20,410,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：物質循環

## 1. 研究開始当初の背景

研究の着想に至った背景を3つの観点から述べる。

## ① 地球温暖化と異常気象との関わり－海洋大循環：

近年頻発する気象異常は、地球温暖化に深

く関与しており、地球の気候システムが乱れ始めていると考えられる。その現状把握と問題解決には、海洋の役割が大きい。現在の海洋では、北大西洋北部等において、低温・高塩分の海水が海洋深層まで沈み込んで北大西洋深層水を形成し、インド洋・太平洋の世界様々な海域において湧昇し、表層海流によって再び北大西洋へ回帰する。この海洋大循環は、地球表層の熱と物質の輸送を通して、気候変動に深く関わっている。しかし近年、地球温暖化に伴い北大西洋北部等で海水の沈み込みが弱まり、海洋大循環が変化しつつあると指摘されている。それに伴う海洋表層の生物活動や炭素循環の変化を介し、更に地球温暖化に拍車のかかることが懸念されている。2006年 SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research) の承認を受け、海洋環境の三次元断層診断を行う大型国際海洋観測研究計画 GEOTRACES (<http://www.geotraces.org/>; 本課題研究代表者も計画の立案に参加) が正式に発足した。この計画は、過去 30 年間の海洋変化を正確に捉え、現在著しく変化する地球環境の未来を、的確に予測するためのデータベース構築が狙いである。

## ② 陸から海洋へ熱・物質輸送の重要ルートー沿岸海底湧水:

大陸棚に存在する淡水性海底湧水(地下水)は、様々な物質を海洋に供給し、海洋の物質循環を考える上で極めて重要な存在である。しかし、物質のみならず、海底湧水は淡水や熱輸送の重要なルートとして、海洋の成層構造/海洋循環に大きな影響を及ぼしていると、我々は推測している。研究代表者は、過去 7 年間に東アジア沿岸海底湧水研究の先駆者の一人として一連の成果を上げてきた。日本海に面する最大の深海湾である富山湾での調査結果から、湾内へ流出する海底湧水量は世界的にも屈指であり、河川水の最大 25%にも及び、これによる溶存態リンと窒素の供給量は河川水のそれに匹敵し、沿岸海域の基礎生産量に大きく貢献していることを実証した。また、利尻島・大槌湾・駿河湾においても海底湧水による栄養塩供給の実態を明らかにし、国外では台湾において初めて海底湧水の発見及び流量計測に成功した{日本地球化学会誌「地球化学」Vol39, No.3 特集号沿岸海底湧水の科学(原著論文 8 編・速報 1 編); 2005}。現在、GEOTRACES において、海底地下水湧出は世界の沿岸海洋に普遍的な現象と認識されており、重点研究課題の一つとして取り上げられ、各種物質の重要な供給源として海底湧水の研究が世界中の沿岸海域で展開されつつある。

一方、これまでの知見によれば、海洋大循環の原点である北大西洋北部で形成される

低温・高塩分海水の沈み込みは、冬季の海水または季節風による海面での冷却と過度蒸発に起因する。しかし、地下水は年間を通してその温度変化が小さく冬季でも暖かい。例えば海水の結氷温度は塩分 30(psu)でおよそ  $-1.6^{\circ}\text{C}$  であるのに比べて、冬季海底湧水の温度は極域で約  $2^{\circ}\text{C}$ 、北緯 45 度付近の利尻島では  $6^{\circ}\text{C}$  と遥かに高い。つまり冬季の海洋への海底湧水流は、表層海水の塩分低下と海水温の上昇を招き、海水形成や高塩分水の生成を妨げ、海水の沈み込みやそれを駆動力とする海洋循環に影響を及ぼす。近年の地球温暖化で、北極域の氷河と永久凍土の融解により淡水流出量は過去 20 年間に 15% も増えたと報告されている(B. J. Peterson, 2002)。これら淡水の地下への浸透に伴い極域の地下水循環が活発化され、沿岸海洋への直接湧出とそれに伴う淡水/熱輸送の増加が考えられる。現在、極域において海底湧水の実態や変動、特にその淡水/熱輸送の詳細と量的評価に関する知見は皆無である。今後の世界海洋大循環の変動を左右する重要なファクターとして、これらの早急な解明は、地球温暖化のシミュレーションや将来予測モデルの精度向上のために急務と言える。

## ③ 世界海洋大循環のミニチュア版としての日本海深層循環:

日本海は典型的な閉鎖性縁辺海で、深層まで独自の循環をもち、深層水循環時間が 90 年ほどと短い(Hatta and Zhang, 2006)。また、地球温暖化に密接に関連して日本海深層水の厚みとその溶存酸素濃度が次第に減少し、表層水の沈み込みの停滞が懸念されている(Gamo, 2001)。我々は 1998 年から 8 年間海水の溶存酸素と希土類元素濃度を手段とし、日本海深層は複雑な多層構造を持つことを明らかにした(Zhang and Hatta, 2004)。特に浅層海水は短時間で入れ替わるため、地球規模の気候変化に鋭敏に反応しており、その循環や変動の詳細解明は地球温暖化へのフィードバックに関する機構解明に大きな意義がある。

本研究は、これまで我々が取り組んできた沿岸海底湧水及び海水構造/深層循環解析の研究実績・成果をベースに、日本海をモデル海域とし、沿岸海底湧水の経年調査、海水形成への影響を実証するための海跡湖観測、広域海洋観測、更に数値モデル計算と組み合わせ、淡水と熱収支の把握によって、沿岸海底湧水系の淡水・熱輸送と世界海洋大循環や深層水形成への影響を見積るという着想に至ったものである。

## 2. 研究の目的

本研究は、これまで培ってきた我々の沿岸海底湧水/日本海深層循環研究のノウハウを

生かし、淡水・熱収支の把握、沿岸海底湧水による海水沈み込み・海洋循環への影響の解明を目的としている。

### 3. 研究の方法

① ケーススタディーその1：沿岸海底湧水の淡水・熱輸送の実態と経年変動の把握：

陸水の全てが海底湧水として流出する利尻島をフィールドに、これまで確認できた湧水点において水質と湧出量の経年観測を行う。

② ケーススタディーその2：海底湧水が海氷形成に与える影響の実証：

オホーツク海に直結し且つ水文データが豊富なサロマ湖をフィールドに選定する。オホーツク海流氷が観測される冬季に、河口域において淡水（河川水・地下水）流出状況と海氷形成の実態を観測する。

③ 日本海をモデル海域とした検証：

北部日本海海底湧水の実態とその影響を明らかにするため、利尻島周辺や東部日本海の北緯 45 度付近で海洋観測を行う。海水循環や水塊の構造解析に複合的の化学トレーサー希土類元素濃度・酸素水素同位体比・メタンとその炭素同位体等を用い、淡水収支を明らかにする。

### 4. 研究成果

本研究は、これまで日本沿岸を中心に行われてきた沿岸海底湧水 (SGD) の成果を踏まえ、海洋大循環の 1/10 モデルとされる日本海における淡水・熱収支を明らかにし、SGD による海水沈み込み及び海洋循環への影響解明を目的としている。

まず、沿岸海底湧水の淡水・熱輸送の実態と経年変動を把握するため、平成 19-20 年度は主に利尻島・サロマ湖を中心に研究を進めた。

降水のほとんどが SGD として流出する利尻島をフィールドに、陸域及びこれまで確認できた沿岸部陸域湧水点において、2 年間で秋

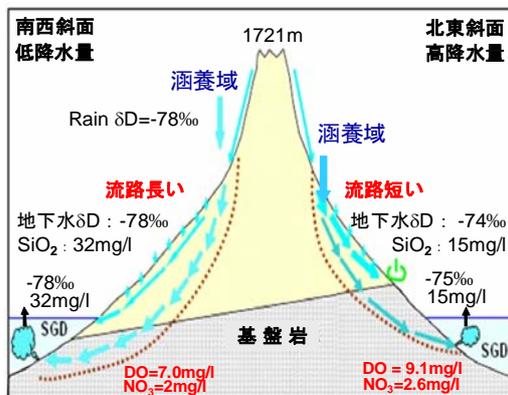


図 1. 利尻島における海底湧水の流動模式図

季及び春季に計 4 回の観測を行った。まずは SGD の源である陸水（井水・自噴水・溪流等）の同位体的・水文学的特徴や流動状況、特に熱フラックスの観点から温度の季節変化を調査した。また海域では、ダイバーの潜水調査で SGD 等を探査し、化学成分・栄養塩濃度を分析した。その結果は下記のとおりである：①SGD は沿岸部自噴水（被圧地下水）のものであり、涵養高度の異なった降水の混合で構成される；②水試料中の主要化学成分・トリチウム・CFCs・SF6 の濃度及び酸素・水素同位体組成より、SGD の殆どが標高 1200m 以上の高山地域に起源を置き、陸域湧水を形成している地下水流動系より深い流動経路を持ち、規模も大きい（図 1.）；③SGD の平均滞留時間は約 20~30 年と一定で、陸域湧

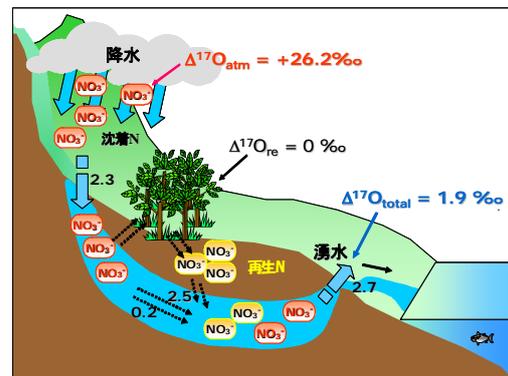


図 2. 利尻島における硝酸態窒素の循環図

水の 5~20 年に比べてより長い；④メタン・一酸化二窒素・硝酸イオンなどの濃度・同位体組成から、SGD 中の全硝酸イオン中に含まれる大気沈着由来の硝酸イオンは 10% 程度で、大部分は再生由来の硝酸に置換されている（図 2.）；⑤沿岸表層海水に比べ SGD は栄養塩に富み (Si:128; N:58; P:15 倍)、Si:N:P 比は 238:8:1 となり結果的に N 制限の環境を作った；⑥沿岸の表層海水に比べ SGD は温度の季節的变化が小さい ( $6.3 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ )。

また、海底湧水の海氷形成への影響を明らかにするため、オホーツク海に隣接するサロマ湖・能取湖を調査フィールドとした。平成 19 年度のサロマ湖・能取湖における予備の調査結果は、下記とおりである：①サロマ湖とオホーツク海を隔てる砂州には湧水の存在が確認され、海跡湖底層水にも低塩分水シグナルが観測された；②能取湖では月ごとの定点調査により、底層水は夏季を中心に低塩分水の影響を受けていることが分かった；③改良型フラックスチャンバー・温度センサー広域流量計の試運行により、高緯度・少湧出量海域においての使用時の問題発見・改良・試作のためのデータ蓄積ができた。平成 20 年度は調査の重点をサロマ湖におき、④海跡湖底層水に低塩分・低酸素水シグナルが主に夏季を中心に分布することが分かった。⑤佐呂

間別川と芭露川の河口域における河川水・地下水と、サロマ湖における砂州のワッカ湧水に関する観測及び化学成分・同位体組成の結果から、陸域地下水に由来するものと推測した。更に⑥改良型フラックスチャンバー及び温度センサー広域流量計について、高緯度・少湧出量海域における試運行に成功した。

日本海をモデル海域として検証するため、平成 21 年度に北海道利尻島周辺及び北日本海北海道沖海域における海洋観測調査研究を計画・実行した。具体的に利尻島周辺においては、SGD の淡水・熱輸送の観点から、特に水温の季節変化に着目し、SGD などの淡水と海水との温度差が大きい 6 月末～7 月初めに、北海道大学水産学部の演習船「うしお丸」を用い、北海道大学と共同で利尻島を一周する海域観測調査を行った。CTD 観測及び NISKIN 採水を行い、海水におけるマルチプルな組成（水温・塩分・溶存酸素・酸素/水素同位体比など）の分析を行った。また、4 月下旬に北海道大学水産学部附属練習船「おしよる丸」並びに 9 月中旬に長崎大学水産学部練習船「長崎丸」を用いた東日本海盆水塊構造に関する海洋観測調査により、下記の結果が得られた：

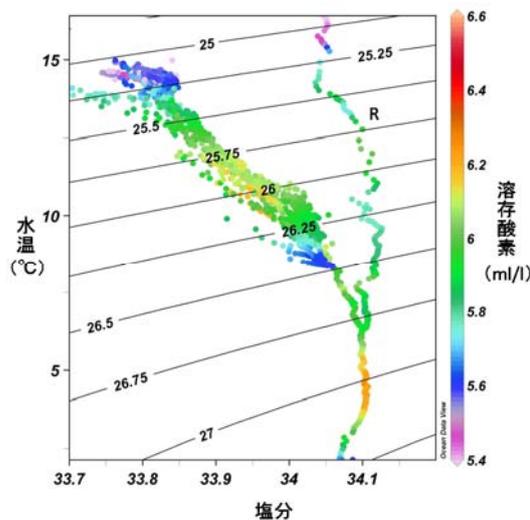


図 3. 利尻島周辺海域における水温・塩分・溶存酸素分布図。

①北海道北西方沖の水深 500m の海域に比べ、利尻島周辺では水深 20m 以浅において低塩分・低温・低溶存酸素水（図 3.）が一様に広がり、SGD による影響が少なくとも 2% 以上あり、また、浅瀬に存在する SGD が海水の塩分を約 0.35psu 低下させることが分かった。②水深 60m において、海洋表層と同様な低塩分・低温・低溶存酸素水の存在が観測され、海水の塩分を 0.1psu 近く低下させていた（図 3.）。利尻島周辺では広範囲にわたり水深 60m まで SGD の影響が及んでいることが示唆された。③晩秋～冬季～早春にかけて、温度変化

の大きい海洋表層水に対し、利尻島周辺における SGD の温度は年間を通じて 6～8 度で変化は小さい。

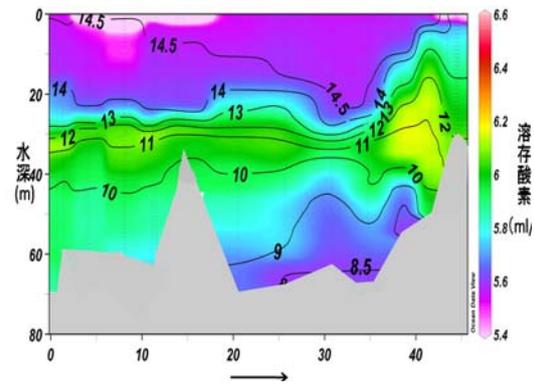


図 4. 溶存酸素断面図。

これら定点及び広域海洋観測の結果、SGD が栄養塩など化学物質のみならず、淡水や熱輸送の重要なルートとして、海洋の成層構造/海洋循環に影響を及ぼしている実証が得られた。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 15 件）

- ① Tsunogai, U., D. Komatsu, S. Daita, G. A. Kazemi, F. Nakagawa, I. Noguchi, and J. Zhang, Tracing the fate of atmospheric nitrate deposited onto a forest ecosystem in eastern Asia using Delta<sup>17</sup>O, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 有, 10, 2010, 1809-1820.
- ② Bai, L. and Zhang, J., Shelf water mass origins and nutrient flux estimation in the East China Sea using low-volume seawater measurement with rare earth element. *Adv. Geosci.*, 有, 18, 2010, 169-180.
- ③ Fantong, W. Y., Satake, H., Ayonghe, S. N., Suh, C. E., Adelana, S. M. A., Fantong, E. B. S., Bansekha, H. S., Gwanfongbe, C. D., Woincham, L. N., Uehara, Y., and Zhang, J., Geochemical provenance and spatial distribution of fluoride in groundwater of Mayo Tsanaga River Basin, Far north Region, Cameroon: implications for incidence of fluorosis and optimal consumption dose. *Environ. Geochem. Health*, 有, 10, 2009, 007/s10653-009-9271-4.
- ④ Mst. S. Nahar, Zhang, J., Hasegawa, K., Kagaya, S. and Kuroda, S., Phasetransformation of an ataserutilecrystals indoped and

- undoped TiO<sub>2</sub> particles obtained by the oxidation of polycrystalline sulfide, 有, 2009, 12, 168-174.
- ⑤ Zhang, J., T. Nakamura, H. Narita, and R. W. Jordan (2009) Coccolithophorids blooms and their biogeochemical-controlling features: Varied water masses and nutrient fluxes in the southeastern Bering Sea *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 無, 73, A1505.
- ⑥ 角皆 潤, 小松大祐, 代田里子, 中川 書子, 野口 泉, 張 勁, 三酸素同位体組成を指標に用いた大気沈着窒素—森林生態系間相互作用の定量的評価法, 低温科学, 無, 6, 2010, 107-119.
- ⑦ 榎田 和彦, 佐藤 義夫, 成田 尚史, 加藤 義久, 明神海丘カルデラにおけるマンガンと鉄の挙動, 日本海水学会, 有, 63(1), 2009, 29-38.
- ⑧ Peng, T.-R., Chen, C.-T. A., Wang, C.-H., Zhang, J. and Lin, Y.-J., Special Section: GEOTRACES in AISA-I, Eds., J. Zhang et al., Assessment of terrestrial factors controlling the submarine groundwater discharge in water shortage and highly deformed island of Taiwan, western Pacific Ocean. *J. Oceanogr.*, 有, 64, 2008, 323-337.
- ⑨ Zhang, J., Gamo, T., Dai, M., Chen, C.-T. A. and Sohrin, Y. (eds.) GEOTRACES in Asia-1 from regional to international networks: the studies of marine biogeochemical cycles of trace elements and isotopes. *Journal of Oceanography*, 有, 64, 2008, 229-337
- ⑩ J. Zhang, L.-L. Bai, M. S. Nahar, M. Honda and N. Harada, Water mass structure along 47° N in the North Pacific: Rare earth elements influenced by marginal seas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 無, 72, 2008, A1083
- ⑪ L.-L. Bai and J. Zhang, Sources of shelf water and nutrient fluxes in the East China Sea estimated using rare earth elements., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 無, 72, 2008, p. A43
- ⑫ T. Nakamura, J. Zhang, and H. Narita, Water Mass Characterization and Seasonal and Annual Variations in the Southeastern Bering Sea, Proceeding of the First International Symposium on the Arctic Research (ISAR-1), 無, 2008, 286-289
- ⑬ Tsunogai, U., T. Kido, A. Hirota, S. B. Ohkubo, D.D. Komatsu, F. Nakagawa, Sensitive determinations of stable nitrogen isotopic composition of organic nitrogen through chemical conversion to N<sub>2</sub>O. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 有, 22, 2008, 345-354.
- ⑭ Komatsu, D.D., T. Ishimura, F. Nakagawa, and U. Tsunogai, Determination of the 15N/14N, 17O/16O, and 18O/16O ratios of nitrous oxide by using continuous-flow isotope ratio mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 有, 22, 2008, 1587-1596.
- ⑮ M. Shigemitsu, Y.W. Watanabe and H. Narita Time variations of δ 15N of organic nitrogen in deep western subarctic Pacific sediment over the last 145 ka, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 有, 9(10), 2008, 1-13

[学会発表] (計 20 件)

- ① Jing Zhang and L-L Bai, Nutrient contributions of Kuroshio subsurface water and pore water to continental shelf subsurface water in the East China Sea, The 2nd Workshop on “Marine Environment in the East China Sea and Its Sound Future” MEECS II, 7 February 2010, Fukuoka
- ② 張 勁, 村山晴美, 千手智晴, 蒲生俊敬, 溶存酸素からみた日本海深層海水循環とその経年変化, 2009 年度日本海洋学会秋季大会, 2009 年 9 月 25 日, 京都
- ③ 柏 麗麗, 張 勁, 東シナ海の堆積物における希土類と栄養塩の分布の解明, 2009 年度日本地球化学会第 56 回年会, 2009 年 9 月 17 日, 広島
- ④ J. Zhang, H. Murayama and T. Senjyu, Characteristics of Deep Subducted/Advected water and Its Decadal Changes Using Dissolved Oxygen in the Japan Sea/East Sea, AOGS2009, 13 August 2009, Singapore
- ⑤ A.K. Mandal, J. Zhang and K. Asai, Stable isotope and geochemical characteristics of submarine groundwater in the volcanic island of Rishiri, Japan. AOGS2009, 15 August 2009, Singapore
- ⑥ J. Zhang, T. Nakamura, H. Narita and R. W. Jordan, Coccolithophorids blooms and their biogeochemical-controlling features: Varied water masses and nutrient fluxes in the southeastern Bering Sea, *Goldschmidt2009*, 25 June 2009, Switzerland

- ⑦ J. Zhang and Li-Li Bai Water mass analysis using chemical tracers in the East China Sea, Workshop on Marine Environment in the East China Sea, 16 July 2009, Nagoya
- ⑧ J. Zhang Joint biogeochemical studies in the Japan Sea/East Sea: from regional to international. PICES workshop on Status and Trends in East Asian Marginal Sea Ecosystems, 22 April 2009, Korea
- ⑨ H. Murayama and J. Zhang, Deep water circulation and its decadal changes using dissolved oxygen in the Japan Sea/East Sea. The 15th PAMS (Pacific Asian Marginal Seas) Meeting, 24 April 2009, Korea
- ⑩ 角皆潤, 小松大祐, 代田里子, 中川書子, 張勁, 溶存硝酸の三酸素同位体組成をトレーサーに用いた地下水中の窒素循環解析, 日本地球惑星科学連合大会(招待講演) 2009年5月18日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑪ 丹下佑美子, 成田尚史, 愛媛県西条市地域別地下水水質および生物化学的プロセスの検討, 2009年度日本海洋学会秋季大会, 2009年9月15日, 広島
- ⑫ Bai, L.-L. and Zhang, J., Shelf water mass origins and nutrient flux estimation in the East China Sea using low-volume rare earth element measurement 5th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society 16-20 June, 2008, Busan, Korea
- ⑬ 村山晴美, 張勁, Deep water circulation and its changes over ten years using dissolved oxygen in the Sea of Japan 2008年度日本海洋学会秋季大会, 2008年9月24日~28日, 広島国際大学
- ⑭ Ajit. k. Mandal and Jing Zhang, Hydrochemistry and isotope composition of springs in Rishiri volcano island, Japan 2008年度日本地球化学第55回年会, 2008年9月17~19日, 東京大学
- ⑮ 代田里子, 小松大祐, 大久保智, 今野祐多, 広田明成, 中川書子, 角皆潤, 三酸素同位体組成を指標に用いた陸水中の窒素循環解析 日本地球惑星科学連合 2008年大会, 2008年5月25~30日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑯ 角皆潤, 小松大祐, 代田里子, 中川書子, 張勁 森林生態系における沈着窒素の利用効率 日本地球化学会第55回年会 2008年9月17~21日 東京大学
- ⑰ 浅井和見, 浅井和由, 張勁, 茂木勝郎, 長谷川和宏 CFCs, SF6による利尻島海底湧水の滞留時間推定, 日本地下水学会, 2008年秋季講演会, 2008年11月20~22日 九州大学
- ⑱ K. Asai, J. Zhang, K. Asai, A. K. Mandal, K. Mogi And K. Hasegawa, Residence time of submarine fresh groundwater discharge in Rishiri Island, north Japan: Application of groundwater age tracers of Tritium, CFCs and SF6. 2008 AGU Fall Meeting, 15-19 December, 2008, San Francisco, California
- ⑲ 角皆潤, 小松大祐, 代田里子, 中川書子, 張勁 「森林生態系における沈着窒素の利用効率」(1F16) 日本地球化学会第55回年会, 東京大学教養学部, 2008年, 9月17-21日.
- ⑳ N. Tsurushima, H. Narita, K. Okamura and T. Kimoto, Determination of carbonate species in environmental water by new automatic instrument, The 237th ACS national Meeting, 2008, 3.26, Salt Lake City
- 〔図書〕(計2件)
- ① 張勁, 袁薇, 王式功, 古今書院 黄砂は海にどのような影響を与えているか「黄砂」, 2009, 308-314
- ② 張勁 海洋出版 特集「富山湾の研究—キトキト—」月刊海洋 47, 2008, 海洋出版 5-148

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

張勁 (ZHANG, JING)  
富山大学・理工学研究部(理学)・教授  
研究者番号: 20301822

### (2) 研究分担者

成田尚史 (NARITA, HISASHI)  
東海大学・海洋学部・教授  
研究者番号: 50250501

研究分担者  
郭新宇 (GUO, XINYU)  
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・准教授

研究者番号: 10322273

研究分担者

中川書子 (NAKAGAWA, FUMIKO)  
北海道大学・理学系研究院・助教  
研究者番号: 70360899

研究分担者

(中川書子の代理, 平成20年度)

角皆潤 (TSUNOGAI, URUMU)

北海道大学・理学系研究院・准教授

研究者番号: 50133367