

平成 22 年 6 月 15 日現在

研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19340137  
 研究課題名（和文）氷コア解析に基づく北部北太平洋への陸起源物質降下量復元  
 研究課題名（英文）Reconstruct of depositions of terrestrial materials into the northern North Pacific by ice-core analysis

研究代表者  
 白岩 孝行 (SHIRAIWA TAKAYUKI)  
 総合地球環境学研究所・准教授  
 研究者番号：90235739

研究成果の概要（和文）：北部北太平洋で知られている気候レジームシフトと生物基礎生産量変動との関係について調べるために、アラスカ山脈オーロラピーク近傍に発達する氷河において氷コアを採取し、鉄濃度の分析を行った。その結果、10年間の平均鉄沈着量は  $8.8 \text{ mg m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  で、2001年2002年は、それぞれ、29、19  $\text{mg m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  だった。30m 深の海洋表面混合層への鉄の供給は、10年間の平均値では、植物プランクトンを増殖させるほどの影響がないが、2001年、2002年の大規模黄砂時には影響を与えうることが推測された。

研究成果の概要（英文）：In order to study the relationship between the North Pacific climate regime shift and ocean primary production, we analyzed iron concentrations in an ice core drilled at Aurora Peak, Alaskan Range. It was found that the averaged iron deposition was  $8.8 \text{ mg m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  for the last 10 years, but it was 29 and  $19 \text{ mg m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  for 2001 and 2002 when there were significant Kosa events. The results suggest that the atmospheric iron deposition to the upper 30-m mixed layer will not affect the biomass production in average but the amounts as recorded in 2001 and 2002 will be high enough to affect the ocean primary production.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：数物科学系

科研費の分科・細目：地球惑星科学、気象・海洋物理・陸水学

キーワード：陸域水循環・物質循環、古環境復元

## 1. 研究開始当初の背景

近年行われた海洋への鉄散布実験の結果、北部北太平洋の東西両海域において、鉄は一次生産の制限要因として重要であることが明らかになった。鉄の供給源については、下層からの鉛直的な供給と春先の黄砂の飛来によって大気を通してもたらされる鉄フラックスの寄与が大きいと考えられている。大気から海洋へ供給される鉄の量は様々な研究手法で観測や推定がなされているが、十分なデータが提供されているとはいえない。

我々はこれまでの科学研究費およびその他の外部資金の援助を得て、ロシア・カムチャツカ半島ならびにアメリカ・アラスカ州の氷河において雪氷コア掘削を実施、主として安定同位体比と主要イオンの分析からこの地域で生じた過去 300 年程度にわたる気候・大気環境の変動の実態を調べてきた。その結果、北部北太平洋の両岸の山岳地域に発達する氷河には、北部北太平洋の気候・大気環境の記録が過去数百年にわたって記録されており、これらの氷コア中の酸素・水素安定同位体比、主要イオン濃度、固体微粒子濃度、微量金属濃度、火山灰を分析することにより、HNLC 海域にもたらされる栄養塩および微量金属フラックスを過去に遡って復元することが可能になるとの着想を得た。残念ながら、これまで掘削した地点は、活火山ないし活火山に近接していたため、活火山起源の主要イオンおよび微量金属が含まれており、上記の目的を達成するためには活火山から離れた地点での氷コアを採取する必要がある。

## 2. 研究の目的

アジア大陸から北部北太平洋に輸送される微量金属・栄養塩フラックスを、北部北太平洋に隣接し、しかも活火山から遠く離れたアラスカ山脈のマッキンリー山塊に発達する氷河において氷コアを採取・分析することにより過去 300 年程度遡って復元し、北部北太平洋で知られている気候レジームシフトと生物基礎生産量変動との関係について、歴史的な視点からその相互作用を解明すること。

## 3. 研究の方法

### (1) 氷コア採取

火山活動の影響の少ないアラスカ山脈東部、オーロラピーク近傍の氷原においてエレクトロメカニカルドリルを用い、180m 深までの氷コアを採取した。掘削後、掘削孔を用いた氷河の温度分布の測定を行った。

### (2) 掘削地点周辺の測量

氷コアの正確な年代決定のために必要な掘削地点の流動場を明らかにするために、掘削地点を中心に東西北 200m、南 500m の範囲で GPS 測量による表面高度測定、同範囲 18 地点における表面流動速度を行った。また、同範囲で音波探査による氷厚測定を行った。

### (3) 氷コア解析

掘削後、氷河上で直ちに氷コアの密度測定と目視による層構造観察を行った。氷コアは冷凍のまま日本に空輸し、総合地球環境学研究所および北海道大学低温科学研究所の低温実験室で切り分け、試料表面に付着した汚染物質を除いた後融解し、化学主成分および水素同位体比の測定を行った。

また、2003、2004 年に掘削したアラスカ州ランゲル山水コアの化学主成分、水素同位体比、微量金属の分析を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 氷コア採取と掘削孔温度分布

氷コア掘削は、2008 年 5 月 20 日から 14 日間行われ、180m 長の氷コアが採取された。150m 以深で採取される氷コアの状態が悪くなった。これまでの山岳氷河や亜極域氷河での掘削で見られる破碎現象とよく似た現象だった。

掘削終了後に測定された氷河の鉛直温度分布は、120m から 160m では $-7^{\circ}\text{C}$ 程度で安定し、それ以浅で急激に上昇し、35m 深で $-1^{\circ}\text{C}$ を示した。この急激な氷温の上昇は、近年の温度上昇を反映していると推定される。

### (2) 掘削地点の流動場の観測

掘削地点周辺の GPS 測量から、観測地域の表面および岩盤地形が得られた。表面地形は緩やかな鞍状地形を呈しているが、岩盤地形は東側に谷を持つ地形であることがわかった。岩盤地形と表面地形が異なる氷河が形成された原因として、東西での降雪量の違い、フィルン層の流動特性、観測範囲外の地形が影響していると推定された。

氷河表面流動測定から、氷河表面は掘削点付近を中心とした発散場を示していることが分かった。東西に 200 m 離れた地点での水平流動速度は約  $10 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ であった。

音波探査によって測定された氷厚は複雑な分布を示し、表面地形と岩盤地形は一致しなかった。掘削地点は鞍状地形の頂点付近に位置し、流動速度は鉛直方向に  $8 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ だった。掘削地点の氷厚はおおよそ 250 m と推定された。

測定された表面および岩盤地形データを用いて、氷河地点を東西に縦断する面にお

る2次元氷河流動を有限要素法によって計算した。その結果、氷河が定常状態だと仮定すると掘削地点における年間質量収支は5-7m(水当量)であり、180mの水コアは83年間に相当すると求められた。しかし、この値は水コア解析から求められた年間質量収支

(2.9m水当量)と比べて過大評価である。その要因としては、観測データが夏季の3週間で得られた値であり年間の平均的な代表値ではないことと、氷河が定常状態であると仮定したことが挙げられる。

### (3) 水コア解析

掘削直後に測定された水コアの密度プロフィールは、表面から徐々に増加する山岳地域の寒冷氷河に見られる一般的な傾向が見られた。また、密度分布に顕著なばらつきがなかったことから、風による削剥、氷体の流出や流入、融解の影響は少ないと考えられる。氷化深度は約55mだった。得られた密度プロフィールを圧密過程の経験式(Herron-Langway式)にフィッティングし水コアの年代を推定した。その結果、経験式にもっとも適応するときの年間質量収支は0.5m(水当量)だった。この値は水コア解析から求められた年間質量収支(2.9m水当量)と比べて過小評価である。その要因としては、経験式に与えられている定数が、山岳氷河では単純に適応できないこと、近年は高い気温にともなう降水量の増加が影響しているなどの可能性が考えられる。

目視観察による融解氷層の分布から掘削地点は浸透帯に位置していると判断できた。融解氷層の厚さは10cm近い大きなピークがいくつか見られるがほとんどは2cmに満たない。また、アラスカ山脈のGulkana氷河の気温データから推定した掘削地点の気温は、夏でも0°Cを超えることがない。以上のことから、夏季に生じる融解水は前年の層まで浸透することなく直下の層で再凍結すると考えられる。年代が確定された2000年から2006年にあたる部分において、年層に対する融解氷層の割合は、Gulukana氷河の気温から推定した掘削地点の夏季の気温と有意な関係( $r=0.94$ ,  $p<0.01$ )が見られ、融解氷層の割合は夏季の気温のよい指標になることが分かった。

水素同位体比はほぼ明瞭な季節変動を示し、年層を判別した。その結果、34mで8年間に相当すると推定された。

2003、2004年に採取されたランゲル山水コア中の化学分析から、過去10年間の東部北太平洋域への鉄の沈着量を推定した。その結果、10年間の平均鉄沈着量は $8.8\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{yr}$ で、日本で大規模な黄砂飛来が観測された2001年2002年は、それぞれ、 $29\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{yr}$ 、 $19\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{yr}$ だった。大気由来の鉄の海水への

溶解度を2%と仮定すると、30m深の海洋表面混合層への鉄の供給は、10年間の平均値では、植物プランクトンを増殖させるほどの影響がないが、2001年、2002年の大規模黄砂時には影響を与えうることが推測された。

### 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5件)

- ① 福田武博、杉山 慎、白岩孝行、的場澄人 2008年アラスカ・オーロラピークにおける氷河流動測定・氷厚探査、北海道の雪氷、査読無、28、2009、69-72.
- ② 白岩孝行、北極圏の氷河、雪氷研究の系譜、(社)日本雪氷学会北海道支部、査読無、2009、98-101.
- ③ 植村立、白岩孝行、極域氷床コアと山岳氷河コアを用いた古気候・古環境復元、デジタルブック最新第四紀学、日本第四紀学会、査読無、2009、25p
- ④ Matoba S., Sasaki H., and Shiraiwa T. Iron flux over the subarctic Pacific estimated by an ice-core record from Mount Wrangell, Alaska, Report on Amur-Okhostk Project 5. 査読無、2008、183-188.
- ⑤ Syosaku KANAMORI, Carl S. BENSON, Martin TRUFFER, Sumito MATOBA, Daniel J. SOLIE, Takayuki SHIRAIWA, Seasonality of snow accumulation at Mount Wrangell, Alaska, USA, Journal of Glaciology, 査読有、54, 2008、273-278.

[学会発表] (計18件)

- ① 対馬あかね、アラスカ、オーロラピークの化学解析結果、日本地球惑星科学連合、2010年大会、平成22年5月28日、千葉
- ② 的場澄人、カムチャツカ・イチンスキーアイスコアから得られたオホーツク海の高氷と気温の変動、日本地球惑星科学連合2010年大会、平成22年5月28日、千葉
- ③ 福田武博、アラスカ・オーロラピークの水コア掘削地における氷河流動数値モデル、2009年度日本雪氷学会全国大会、平成21年10月1日、札幌

- ④ 的場澄人、カムチャツカ・イチンスキー  
アイスコア中の化学プロファイルから得  
られた気候変動情報、日本地球惑星科学  
連合 2009 年大会、平成 21 年 5 月 20 日、  
千葉
- ⑤ 白岩孝行、アラスカ山脈オーロラピーク  
における雪氷コア掘削概報、2008 年度日  
本雪氷学会全国大会、平成 20 年 9 月 24  
日、東京
- ⑥ 的場澄人、北部北太平洋域へのエアロゾ  
ル鉄沈着量の推定 - アイスコアからの  
評価 -、日本海洋学会春季大会、平成 20  
年 3 月 27 日、東京

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

白岩 孝行 (SHIRAIWA TAKAYUKI)  
総合地球環境学研究所・准教授  
研究者番号：90235739

### (2) 研究分担者

的場 澄人 (MATOBA SUMITO)  
北海道大学・低温科学研究所・助教  
研究者番号：30391163

山縣 耕太郎 (YAMATAGA KOTARO)  
上越教育大学・学校教育学部・准教授  
研究者番号：80239588

### (3) 連携研究者

杉山 慎 (SUGIYAMA SHIN)  
北海道大学・低温科学研究所・講師  
研究者番号：20421951

飯塚 芳徳 (IIZUKA YOSHINORI)  
北海道大学・低温科学研究所・助教  
研究者番号：40370043

### (4) 研究協力者

KENJI YOSHIKAWA  
アラスカ大学フェアバンクス校・准教授

佐々木央岳 (SASAKI HIROTAKA)  
北海道大学・環境科学院・博士課程

福田武博 (FUKUDA TAKEHIRO)  
北海道大学・環境科学院・博士課程

對馬あかね (TSUSHIMA AKANE)  
北海道大学・環境科学院・修士課程