

機関番号：10106

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19201013

研究課題名（和文） 「知床」の雪氷環境・防災に関する研究

研究課題名（英文） Studies on glaciological environment and disaster prevention for Shiretoko Peninsula area.

研究代表者

高橋 修平 (TAKAHASHI SHUHEI)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：50125390

研究成果の概要（和文）：研究課題について次のような成果を得た。①知床半島は海氷の流れに対して「せき止め効果」を持ち、北海道で最も長く海氷が接岸する。②知床岬の山間部では吹き払いによる無雪区間と5m以上の吹きだまり区間と地形に依存する積雪特性が得られた。③知床半島で陸生動物も入った栄養塩循環が確認された。④送電線がいしに海塩汚損と着氷による電力障害を観測し、低温実験室内でも再現できた。⑤雪氷環境と人間社会に関する様々な課題が研究された。

研究成果の概要（英文）：Sea ice stays long around Shiretoko peninsula due to the “Dam Effect” against to the sea ice flow. Snow accumulation varies much in mountainous area, which depends on topography. The unique nutrient circulation among sea, river, fish and inland animals was confirmed by stable isotope analysis. The disaster of short circuit by salty snow in snow storm was observed and experimented.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	17,800,000	5,340,000	23,140,000
2008年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2009年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
総計	35,700,000	10,710,000	46,410,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：環境保全技術

1. 研究開始当初の背景

2005年7月、北海道・知床半島はユネスコ世界自然遺産となった。その選定理由は、知床半島が、希少動物が生息する地域であることと流水が育む豊かな海洋生態系と原始性の高い陸域生態系の相互関係に類を見ない特徴があることである。

しかしこの地域はサケ・マス等の有数の漁業地域であり、観光地域でもあり、人間生活との関係が問題点でもあった。自然保護は非常に重要な要素であるが人間生活も大切な要素であり、「自然と人間の共生」の観点か

ら本研究を進める。とくに、この地域は冬期間は厳しい気象環境であり、知床横断道は、1年のうち半年以上は閉鎖され、半島両側のウトロ地域と羅臼地域は分断されて産業・流通にも支障を来している。また2004年1月大雪時、道路交通は寸断され、電力も長期間停電し大きな問題点となった。

そこで知床地域の海氷（流氷）観測、大気環境観測、雪氷環境、気象特性、交通環境、雪氷防災等の冬の環境に焦点を絞った研究を行うこととなった。

2. 研究の目的

知床半島の特徴的な海水（流氷）や積雪など雪氷環境と自然生態系の係わりを明らかにするとともに、および冬期雪氷防災など人間社会に関する事項などについて次の目標を設定した。

- (1) 知床半島の雪氷環境特性：知床は世界で最も低緯度に海水（流氷）が到達する地域であり、海水と生態系の係わりが知床世界自然遺産の選定理由の一つである。その海水（流氷）について知床半島から道東沿岸部にかけての海水勢力や気候との関係を明らかにする。また冬期半年は閉鎖される知床峠横断道路周辺の積雪分布特性を調べる。
- (2) オホーツク域大気環境観測：オホーツク地域の湖沼およびオホーツク海の溶存メタンを調査し、温暖化物質であるメタンの水圏～大気間交換過程を明らかにする。
- (3) 知床半島の水環境調査：知床半島では海水が運ぶ栄養をサケやマスが河川を通じて陸域に運び、水生昆虫や、陸上動物が陸域へと移動させて栄養塩循環を形成している。知床の選定流域において、栄養塩および安定同位体を測定し、栄養塩循環過程を明らかにする。またオホーツク域の湖沼についてはメタン採取等により富栄養化の実態を調べる。
- (4) 雪氷災害：知床半島の両側の海岸線には漁業や観光による集落が続き、環境保全とともに冬期の雪氷災害や電力障害に対する安全対策が必要である。両地域とも電力終端線であるため過去に何度も長期停電が発生し、その対策が必要である。また暴風雪時の交通確保、さらには大地震が起きたときの複合災害への備えがこの地域の課題である。
- (5) 雪氷環境と人間社会：地球環境との関連：オホーツク海の海水と温暖化など、雪氷環境から地球気候環境との関連を見いだす。

3. 研究の方法

(1) 海水観測：

本学に設置されたNOAA衛星受信装置により、オホーツク海全域の画像を受信、配信する(図1)。オホーツク海沿岸域、紋別から知床・ウトロにかけて携帯電話電波を利用した海水監視カメラを設置して海水監視を行う。衛星等データから海上保安庁が作成した毎



図1.北見工大で受信したNOAA衛星画像 1

日の海水速報図から海水勢力解析を行う。

(2) 積雪環境観測：

知床横断道路ウトロ側から知床峠までの未除雪区間で、地中レーダー(GPR)を木製ソリに搭載して雪上車で牽引し、道路面からの反射波を観測して、積雪深分布を連続的に観測する。羅臼側は開発局スノーボール埋設深を観測する。また各地点気象観測データから、気温、風速、積雪等の知床周辺の気候特性を解析する。



図2. 雪に埋もれた知床横断道路(左)と地中レーダー(右)

(3) 溶存メタン観測：

網走湖や藻琴湖において溶存メタンを観測し、アラスカ等北極圏の湖沼と較べることにより、その特性を調べる。また、メタンハイドレートが海底にあるオホーツク海の海水の溶存メタンを測定し海水との関連を調べる。

(4) 河川栄養塩起源観測：

知床のラウス川流域において表層採泥、細粒土砂の安定同位体比解析、サケ、クマや鹿の糞、植生の安定同位体比を計測し、海起源の物質の存在割合を推定する。

(5) 雪氷災害：羅臼町において電力障害対策のための無人気象観測およびがいし絶縁試験装置を設置して連続観測を行った。冬期道路凍結に関しては山間部での開発局データにより凍結解析を行う。

(6) 雪氷環境と人間社会：冬期道路交通整備など行政と地域要望の調整が必要な場合、各機関と調整する場を設けた。

4. 研究成果

(1) 知床半島周辺の海水特性

①知床半島の海水「せき止め効果」(図2)：

オホーツク海北部で生成した海水はサハリン東部を南下し、北海道沿岸に達する。海水勢力(接岸日数)は北の枝幸は少なく、紋別、網走、知床と南東へ向かうにつれて大きく、知床半島ウトロで最も大きい。これは海に突き出した知

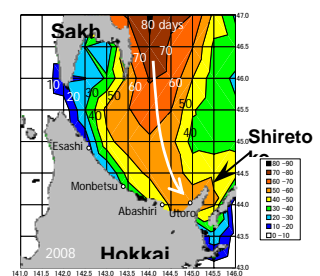


図2.知床半島の「せき止め効果」.海水勢力分布(密度度1の海水存在日数)

床半島が海水の「せき止め効果」を持つためであり、知床の生態系に影響を及ぼす特徴である。

- ②気温との関係：毎年の海水勢力と1-3月の冬期平均気温を比較した所、いい相関関係が得られ、ウトロでは、冬期気温が平年値より4.1℃上昇すると海水が接岸しなくなる結果が得られた（網走では3.1℃、紋別では2.5℃、枝幸では2.1℃）。つまり温暖化に伴い、海水が来なくなる可能性が示唆された(図3)。

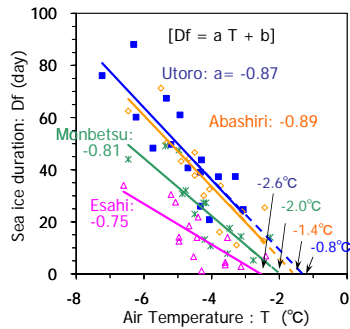


図3. 海水勢力と冬期気温の関係。
気温が上がると海水が来なくなる。

- ③海水消失パターン：春に海水が消失するパターンとして、気温融解・日射融解に伴う現地での「融解型」と風による「流失型」が示された。現在は「融解型」が多いが、気候変化に伴う風系変化により、その比率が変わる可能性がある。
- ④海水の微視組織形成：海水が表面から凍るとき、初めはランダム結晶方位の小結晶であるのが、下方に伸びて行くとき、塩分を排出しながら、ある方位の氷結晶が卓越し、次第に大きく長い結晶が形成される様子をシミュレーションで表現することができた(図4)。

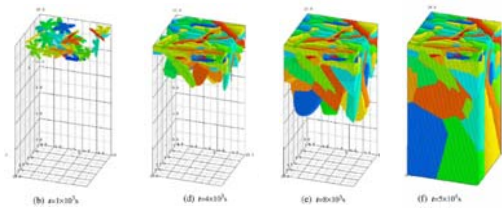


図4. 海水成長シミュレーション. 時間経過が左から
 $t=1 \times 10^3s, 4 \times 10^3s, 8 \times 10^3s, 5 \times 10^4s$.

(2) 知床峠周辺の積雪特性

- ① 知床峠ウトロ側で、平坦地形部の積雪深は例年ほぼ約1.0~1.5mの一定値であるが、山間部に入ると谷間では4~5mを示し、尾根部では吹き払い部となって積雪0の部分もある(図5)。
- ② 羅臼側は平均的に多い積雪深を示し、北西季節風による峠越えの積雪再配分効果を示した。

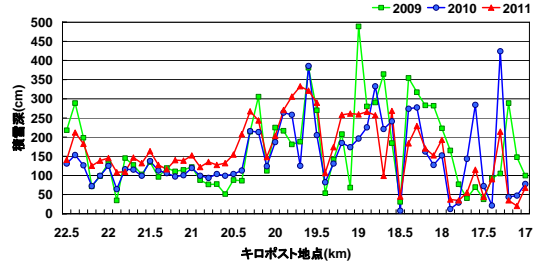
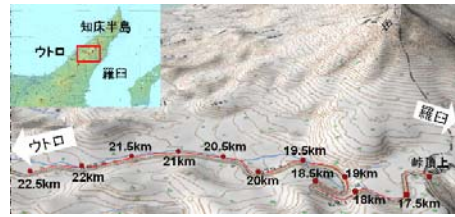


図5. 知床峠積雪観測ルート(上)と観測結果(下)。

(3) オホーツク地域の温暖化気体(メタン)

- ①湖沼は一般にメタンの高放出源(ホットスポット)であり、湖沼サイズと密接な関係がある。しかし富栄養の海跡湖(網走湖や藻琴湖)や永久凍土の融解がある湖沼(アラスカ北極圏)では、湖沼面積トレンドを越えた高濃度の表層溶存メタンが観測された。
- ②知床沖海水表層は冬期間、溶存メタン濃度が異常に高くなる。これはサハリン沖の海水成長と移流の結果もたらされることが明らかになった(図6)。



図6. 知床半島ウトロ沖合を埋めた海水

(4) 知床半島の栄養塩循環

- ①知床半島ラウス川における粒状態懸濁物の安定同位体比測定の結果、融雪開始直前の3月において炭素と窒素の安定同位体比が海起源の同位体比に近づくことが確認され、秋から冬にかけて蓄積された海起源の栄養や物質が融雪と共に流下している可能性が示された。
- ②ラウス川流域の下流における海起源の栄養塩の含有率は35%程度であり、砂防ダムの上流側でも30%以上を有している場所が存在することが確認された。つまり陸生動物による栄養塩循環が確認できた。さらに、下流側の細粒土砂の輸送割合が、上流側に比較して高いことが示された。

(5) 寒冷地域の災害

- ①道路凍結：冬期道路の凍結状況解析によると、山間部の峠部は11月から翌年4月いっぱいまで凍結の危険があり、とくに橋梁部は冬先に凍結しやすく、覆道部では春になっても凍結の危険が長引くことが示された。
- ②電力障害：知床地域の暴風雪時電力障害の特徴の一つは、送電線がいしに海塩汚損と着氷が重なって短絡が起きるためであった。羅臼町観測でも、がいしの漏れ抵抗増加が確認された。本別海発生した塩雪害電力事故の発生条件を分析した。また、塩分を含んだ湿雪をがいしに着雪させて短絡放電が起こる状態を再現し、その発生条件を求めた(図7)。



図7. 羅臼の観測装置地点(左)と低温室でのがいし着雪実験(右)

(6) 雪氷環境と人間社会：

- ①知床の冬季の魅力向上を支援する協働型道路整備・運用方策が、行政と地域住民の協力でなされた。
- ②路面走行時の加速度データから、ドライビングシミュレーターで走行状態を再現し、多数被験者の乗り心地データを得た。
- ③雪氷スポーツ研究の関連として開発した競技用スキーブーツは冬期オリンピックの日本チームにも採用されて好成績を残した。
- ④冷熱利用：牧草断熱材の雪山(5m高)により野菜貯蔵など冷熱利用を行い、雪山は夏を越して翌冬まで残り、通年0°C環境を実現できた。
- ⑤地球環境関連：オホーツク海海氷は北極海海氷と関連した。極地氷コア研究は地球環境変動と関連した。雪尺観測の考察は普遍的に共通なものである。
- ⑥アウトリーチ：衛星画像、沿岸カメラ画像、知床岬突端の衛星通信型無人気象装置データは一般公開されている。高校生対象サイエンスキャンプ「雪と氷の世界」を毎年開いた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計60件)

- ①Takahashi S., T. Kosugi, H. Enomoto (2011) Sea-ice extent variation along the coast of

Hokkaido, Japan: Earth's lowest-latitude occurrence of sea ice and its relation to changing climate. *Annals of Glaciology*, 58 (in printing). (査読有)

- ②Takahashi S., K. Sugiura, T. Kameda, H. Enomoto, Y. Kononov, M. D. Ananicheva and G. Kapustin. Response of glaciers in the Suntar-Khayata Range, Eastern Siberia, to climate change. *Annals of Glaciology*, 58 (in printing). (査読有)
- ③Nihashi, S., N. Ebuchi, Y. Fukamachi, and S. Takahashi (2011) Characteristics of sea ice in the Okhotsk coastal polynyas revealed from satellites, ice-profiling sonar, and digital camera observations, *Annals of Glaciology*, 57, 133-139. (査読有)
- ④Tomiyama, K., Kawamura, A., Ishida, T., Takahashi, K., and Jomoto, M. (2011) Optimizing Panel Size for Conducting Subjective Pavement Ride Quality Ratings Using a Driving Simulator. *Proceedings of Transportation Research Board*, Vol. 90, No. 11-2620 (CD-ROM).
- ⑤渡邊直樹, 榎本浩之, 館山一孝, 山本朗人, 田中聖隆, 高橋修平ほか3名 (2011) マイクロ波放射計を用いた路面状態自動判別システムの開発. *雪氷(日本雪氷学会誌)*, 73 巻 4号,(印刷予定). (査読有)
- ⑥村井昭夫, 高橋修平, 亀田貴雄, 皆巳幸也, 井端一(2011) 鏡面冷却式露点計による人工雪結晶生成時の湿度測定. *雪氷(日本雪氷学会誌)*, 73 巻 1号, 3-14. (査読有)
- ⑦Sasaki, M., N. Endoh, S. Imura, S. Kudoh, T. Yamanouchi, S. Morimoto, and G. Hashida, (2010) Air-lake exchange of methane during the open water season in Syowa Oasis, East Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 115, D16313, doi:10.1029/2010JD013822, 2010. (査読有)
- ⑧Tetsuya Ohashi, Michihiro Sato and Yuhki Shimazu (2010) Evaluation of Plastic Work Density, Strain Energy and Slip Multiplication Intensity at Some Typical Grain Boundary Triple Junctions. *Materials Science Forum*, 654-656, 1283-1286. (査読有)
- ⑨Nakayama K., A. Aynur, Y. Maruya, K. Natsui and T. Nakaegawa (2010) Evaluation of nutrient flux from Shiretoko into the ocean using MRI-GCM, *Hydrological Research Letters*, in revision. (査読有)
- ⑩Aynur Abliz, 中山恵介, 丸谷靖幸, 桑江朝比呂, 岡田知也, 石田哲也 (2010) 安定同位体比による知床ラウス川を通じた海起源栄養塩の流域内分布, *水工学論文集*, 第55巻, in print. (査読有)
- ⑪Maruya y., A. Abuliz, K. Nakayama, T. Kuwae, T. Okada, T. Ishida (2010) Mass transport and nutrient circulation evaluated by stable isotope

analysis and chemical decomposition, APHW, pp.428-435, 2010.

- ⑫ 富山和也, 川村 彰, 石田 樹, 高橋 清, 中辻 隆 (2010) 舗装路面の体感乗り心地評価における被験者数の最適化, 土木情報利用技術論文集, Vol.19, pp285-292. (査読有)
- ⑬ 若林剛・高橋修平・木下陽介・野原雅彦 (2010) 地中探査レーダーによる積雪観測(6)-知床半島の積雪分布特性-寒地技術論文・報告集, 26, 42-44. (査読無)
- ⑭ 高橋修平・日比野陽介・若林剛・日下稜・ヌアスムグリ アリマス・有田敏彦・安達寛 (2010) 牧草を断熱材として利用した冷熱利用実験(3). 寒地技術論文・報告集, 26, 159-164. (査読無)
- ⑮ Alimasi Nuerasimuguli, 高橋修平, 榎本浩之, 若林剛 (2010) 車載型路面凍結検知システムの試作(2). 寒地技術論文・報告集, 26, 136-138. (査読無)
- ⑯ 若林 剛・木下陽介・高橋修平(2010)地中探査レーダー(GPR)による知床峠の積雪観測(2010年). 北海道の雪氷, 29, 41-44. (査読無)
- ⑰ 高橋清, 志鎌隆(2010)モビリティから見た北海道と欧州の都市構造の比較分析に関する研究, 日本都市計画学会・都市計画論文集 No45, 157-162. (査読有)
- ⑱ 鈴木聡一郎, 林末義, 柴又勇(2010)日本人アルペンスキー選手に適した下肢骨格に基づくスキーブーツ設計, スポーツ産業学研究, 20巻1号, 9-18. (査読有)
- ⑲ M. Sasaki, S. Imura, S. Kudoh, T. Yamanouchi, S. Morimoto and G. Hashida,(2009) Methane ebullition from bubbles suspended in ice-covered lakes at the Syowa Oasis, East Antarctica. Journal of Geophysical Research, vol.114, D18114, doi:10.1029/2009JD011849. (査読有)
- ⑳ Hagiwara, T., Kawamura, A., Tomiyama, K., Tozuka, S., and Ohiro, T. (2010) Using a Driving Simulator to Determine the Most Effective Installation Location for Illuminated Delineators on Expressways under Snowstorm Conditions. Proceedings of Transportation Research Board, 89, No.10-1798 (CD-ROM) (査読有)
- ㉑ Tomiyama, K., Kawamura, A., Takahashi, K., and Ishida, K. (2010) Evaluation Index of Rutting Related to Vehicle Ride Quality. Proceedings of Transportation Research Board, 89, No. 10-3268 (CD-ROM) (査読有)
- ㉒ 木下陽介, 高橋修平, 浜名裕司 (2009) 地中探査レーダーによる積雪深観測(5)-2009年知床峠の積雪観測-, 寒地技術論文・報告集, 25, 92-97. (査読無)
- ㉓ 小杉知史, 高橋修平, 堀 彰 (2009) 知床半島ウトロを中心とした海氷と気象の関係, 寒地技術論文・報告集, 25, 196-201., (査読無)
- ㉔ Kameda, T., K. Fujita, O. Sugita, N. Hirasawa, and S. Takahashi (2009) Total solar eclipse

over Antarctica on 23 November 2003 and its effects on the atmosphere and snow near the ice sheet surface at Dome Fuji. J. Geophys. Res., 114, D18115, doi:10.1029/2009JD011886. (査読有)

[学会発表] (計 102 件)

- ① Shuhei Takahashi, Tomofumi Kosugi and Hiroyuki Enomoto: Sea-ice extent variation along the Okhotsk coast of Hokkaido and its relation to climate change. The 26th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 2011/02/22, Monbetsu.
- ② 若松亨, 佐々木正史, 遠藤登, 井藤裕貴, 馬場陽平: 網走湖における大気とのメタン交換, 日本機械学会北海道支部第 49 回講演会, 2010/11/17, 札幌.
- ③ 丸谷靖幸, 中山恵介, 桑江朝比呂, アイヌルアブリズ: 知床における安定同位体比を用いた栄養塩循環に関する基礎的検討, 水文水資源学会, 2010/09/08, 東京.
- ④ 端孝之, 佐々木正史, 遠藤登, 林祐介: オホーツク海における海洋と大気間のメタン交換量の推計, 日本機械学会北海道支部第 49 回講演会, 2010/11/07, 札幌市
- ⑤ 若林 剛, 高橋 修平, 木下 陽介: 地中探査レーダー(GPR)による知床峠の積雪観測 2010. 雪氷研究大会(2010・仙台), 2010/09/28, 仙台市
- ⑥ 大橋鉄也, 佐藤満弘, 島津侑宜: 3重結晶モデルの多重すべり変形に誘起される再結晶核形成の検討. 日本機械学会 2010 年第 23 回計算力学講演会. 2010/09/23, 北見市.
- ⑦ 及川宏之, 角田洋, 豊島真生, 高橋清: 知床の冬季の魅力向上を支援する協働型道路整備・運用方策の実践. 土木学会第 65 回年次学術講演会, 2010/09/01, 札幌市.

[図書] (計 2 件)

- ① 日本雪氷学会北海道支部 (2009) 雪氷研究の系譜 - 北海道の雪氷から世界の雪氷圏まで - (高橋修平: 編集委員長・分担執筆). 日本雪氷学会北海道支部, 260pp.
- ② 高橋修平 (2010) 日本の雪渓から北極の氷河まで. 山岳科学ブックレット No.5 山岳と極地から見た地球の今, 信州大学山岳科学研究所, 1-30.

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
なし
- 取得状況 (計 0 件)
なし

[その他]

- (1) 報道関連 (計 1 2 件)
① 2010/01/09 読売新聞記事, 「大学を歩く」

北見工業大学, 大自然の寒さは教科書 (高橋修平研究室紹介)

②2010/02/07 北海道新聞 (依頼原稿), 「提言 2010」, 雪氷との共生 (高橋修平)

(2) アウトリーチ

①ウインターサイエンスキャンプ(財団法人 日本科学技術振興財団振興事業:全国高校生対象)を, 2008,2009,2010,2011・1月に本学の屈斜路湖研修所にて実施(高橋修平, 原田, 佐々木, 亀田, 舘山).

②雪氷研究推進センター(代表:高橋修平, 本研究分担者により構成)主催の「雪氷談話会」による講演会(一般公開)を 21 回実施.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 修平 (TAKAHASHI SHUHEI)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号: 50125390

(2) 研究分担者

佐々木 正史 (SASAKI MASAFUMI)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号: 10322885

大橋 鉄也 (OOHASHI TETUYA)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号: 80312445

川村 彰 (KAWAMURA AKIRA)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号: 30149893

榎本 浩之 (ENOMOTO HIROYUKI)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号: 00213562

鈴木 聡一郎 (SUZUKI SOUICHIRO)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号: 30250541

高橋 清 (TAKAHASHI KIYOSHI)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 50236270

亀田 貴雄 (KAMEDA TAKAO)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 00233974

菅原 宣義 (SUGAWARA NORIYOSHI)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 50003215

堀 彰 (HORI AKIRA)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 60280856

舘山 一孝 (TATEYAMA KAZUTAKA)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号: 30374789

(3) 連携研究者

なし