

平成 21 年 6 月 30 日現在

研究種目：若手研究 (A)
 研究期間：2006 ～ 2008
 課題番号：18681004
 研究課題名 (和文) 北極海における環境変動の監視・実態把握に向けた自律型無人小型飛行機の応用
 研究課題名 (英文) Application of UAVs to monitoring of the Arctic

研究代表者
 猪上 淳 (INOUE JUN)
 独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター・研究員
 研究者番号：00421884

研究成果の概要：

急速に変化する北極圏を機動的かつ安価に観測するためのシステムとして自律型無人小型飛行機 (UAV) を導入した。観測・データ解析の結果、(1) 衛星観測による夏季海氷密接度は海氷の表面融解の影響を受けて 7% 過小評価していること、(2) 陸面の植生分布等の差異によって表面温度の変動が 3 度～7 度も幅がありその影響が大気境界層内にも及ぶこと、(3) 海面水温の空間分布の変化に伴い大気境界層が変質することなど、大気・海氷・海洋・陸域の各分野において UAV が有効な観測システムであることが示された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2007 年度	19,300,000	5,790,000	25,090,000
2008 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
計	21,900,000	6,570,000	28,470,000

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：北極海、地球温暖化、無人小型飛行機 (UAV)、観測技術

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の影響を受けやすいとされる北極海では、2000 年以降海氷面積が急激に減少している。これはこれまでの北極における絶妙な熱バランスが崩壊し始めたシグナルとも考えられる。このような変わりつつある北極海の実態把握を行うためには現場観測が必要不可欠である。北極海は他の海域に比べアクセスが困難であるものの、これまで船舶・氷海用漂流ブイ・航空機等による観測がある程度行われてきている。しかしどれも実行するのに大変な準備と費用がかかり、限られた研究者しか関与できないのが実情である。今後継続的に地球温暖化・気候変動を監視するという意味では、極域でも比較的安

価に、短時間で広い領域を何度も観測できるシステムが必要不可欠である。

2. 研究の目的

夏季北極海の家氷に関して、毎年 9 月になると海氷面積の多寡について報告が行われる。海氷のモニタリングには SSM/I や AMSR-E など衛星搭載型のセンサーに頼る部分が多いが、夏季の家氷密接度には相当の誤差が含まれていることも知られている。これは melt pond の発達で、センサーが開水面と誤認することが原因であるとされている。可視センサーとの比較で誤差の見積りを試みた研究例もあるが、夏季特有の下層雲によって解析できる時間と場所が限定される

ことが多い。また、砕氷船による目視観測では領域が限られるため、衛星データとの比較には最適とは言えない。一方、海水観測の比較的新しい手法として、自律型無人小型飛行機 (Unmanned Aerial Vehicle: 以下 UAV) を利用し、衛星データを検証することが技術的に可能となってきた。

北極圏での熱・水輸送過程を考える上で、地表/海面の状態に対する大気応答の解明は重要な課題の一つである。表面状態を観測するには現地調査や衛星観測などの手法があるが、上空の大気状態を同時に調べるには気象観測も必要となる。それを可能とするのが UAV である。UAV は低高度での飛行が可能であるため、より詳細な地表面の状態や海面水温の観測も可能である。ただし、極域での観測は事例が少なく、使用実績も乏しいのが現状である。

ノルウェーのスピッツベルゲン島ニューオルスンは北側がフィヨルド、南側が氷河後退域となっており、変化に富む表面分布である。また、北極海にも面していることから海水域も近く UAV の有効性を試す場所として適している。UAV は発展途上ではあるが、積極的に実際の研究に応用することで、極域・寒冷域での研究に貢献することが期待されている。

そこで本研究課題では UAV を北極圏における様々な研究対象 (大気・海水・海面水温・地表面等) に応用し、地球温暖化・気候変動の解明に資する観測システムの実利用を行う。また既存の UAV による観測データも用いて、海水のプロセス研究を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) エアロゾンデを用いた解析研究

既存の観測データセットとして Aerosonde (以下、エアロゾンデ) で取得されたものを利用した (米国ジョージア工科大学 J. A. Curry 教授提供)。エアロゾンデは気象観測用に関

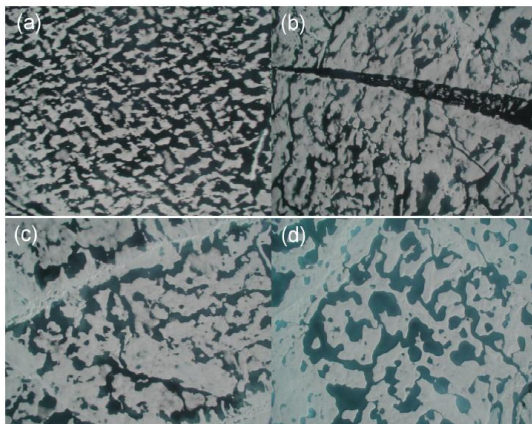


図 1 : エアロゾンデで取得された夏季北極海の海水画像例。高度 200m より撮影。



図 2 : CryoWing の着陸の様子。ニューオルスン日本基地沿いの滑走路を使用。

発された UAV で、2000km 以上の航続距離を活かして台風など有人飛行機では困難な観測に利用されている。極域利用を目的とした観測は 2000 年から 2005 年までアラスカのバロー岬沖で毎年行われ、必要な改良が行われてきた。エアロゾンデには気象センサーやデータ通信用のイリジウム電話の他に、様々な payload オプションが用意されている。本研究ではデジタルカメラを搭載し、様々な海水域 (一年氷・多年氷) を短時間かつ広範囲に観測した事例に着目した (図 1)。本研究で使用したデータは、2003 年 7 月 20 日にアラスカのバロー岬沖の 71.5N から 73.8N までの海水域 (約 300km) で得られた海水画像である。エアロゾンデは 30 秒毎に海面を撮影しながら北上し、合計 470 枚の画像を取得した。1 枚当たりの撮影範囲は高度 200m で 220m x 169m である。観測中は気象データも同時に取得した。

(2) CryoWing を利用した観測研究

一方、北極海に面するスピッツベルゲン島ニューオルスンでは 2008 年 8 月に国立極地研究所の「ラベン」に滞在しながら、基地沿いの滑走路を利用して UAV 観測を行った。基地の利用にあたり、国立極地研究所共同研究を申請し採択された。使用 UAV はノルウェー NORUT 社が運用する CryoWing (図 2) で、これまでノルウェー国内や南極での気象・雪氷観測の実績がある。CryoWing は気象センサーやデータ通信用のイリジウムモデムの他に、デジタルカメラ、赤外線温度計などを同時に搭

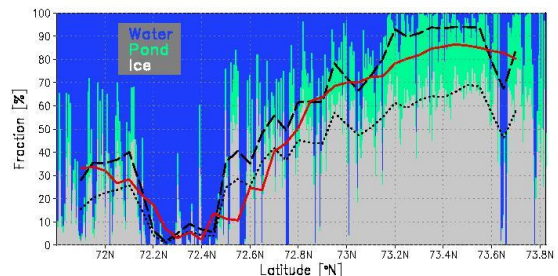


図 3 : エアロゾンデの画像解析から求めた海水・メルトポンド・海面の被覆率。破線は、衛星データ (赤線) と分解能を合わせたもの。

載できる(燃料込で10kgまでのpayload可)。本研究では、デジタルカメラで表面状態や雲の有無を確認しながら、表面温度の分布や上空の大気への影響を、「ラベン」付近の矩形領域での連続観測と、フラム海峡の氷縁域付近までの長距離観測によって調べた。

4. 研究成果

(1) 海氷画像解析

海氷画像は画像解析を通じて1枚毎に開水面(Ao), melt pond(Ap), 海氷(Ai)の3カテゴリに分類し、各カテゴリの面積を求めた(図3)。melt pondの面積比率は20%~30%であることから、観測日は融解期の後半に該当すると考えられる。melt pondの形状は南部(図1a)と北部(図1d)で異なるが、これは海氷の厚さに依存することが知られている。海氷域(Ai+Ap)の空間分布はAMSR-Eによる海氷密接度と概ね一致したが、観測衛星の空間分解能(12.5km)に合わせて詳細に比較すると、衛星データは海氷密接度を7.0%過小評価していることが分かった(図4)。これは画像解析の見積り誤差(3.2%)を大きく上回る値であることから、AMSR-Eによる海氷密接度にはmelt pondの影響が含まれていることを表している。

(2) 大気-陸面過程

一方、ニーオルスンでは2008年8月に国立極地研究所の日本基地「ラベン」に滞在しながら、基地沿いの滑走路を利用してUAV観測を計14回実施した。ラベン付近で行った矩形パターン連続観測は、8月10日と12日に行った。10日は日射が少ない夜間(21時以降)、12日は日射が強くなる10時以降に行った。両日に特徴的な現象として、地表面温度に大きな空間変動があることで、10日は2度、12日は3~10度の変動幅がある(図5)。特に12日は日射の増加により地表面温度の

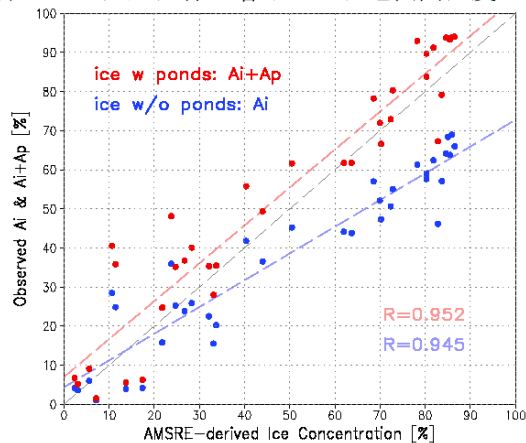


図4：衛星データ(AMSR-E)とエアロゾンデから得られた解析データによる海氷密接度の詳細比較。

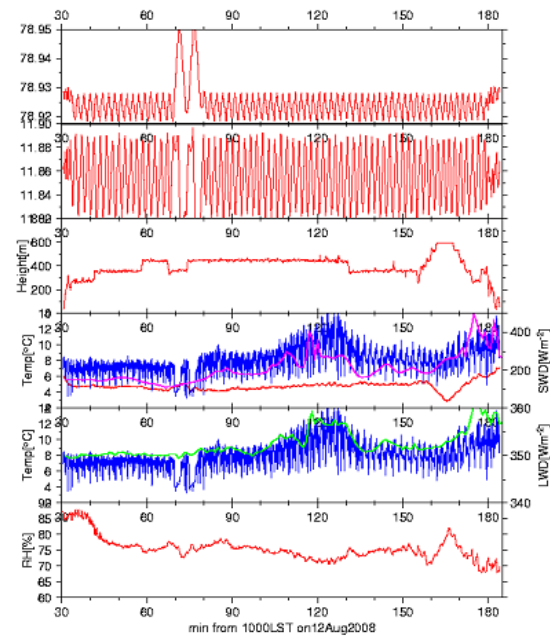


図5：CryoWingによって取得された2008年8月12日のデータ(緯度、経度、高度、表面温度、気温、相対湿度)。

振幅が大きくなる。これは地表面状態に伴うアルベドや湿潤度の違いによって、加熱特性やその応答速度が異なるためと考えられる。地表面温度の分布を反映して、高度数百mの境界層内の気温にもその影響が及んでいることも分かる。取得された2秒毎の写真を各チャンネル(RGB)の輝度値を平均した色の時系列を図6に示す。氷河の融解水が流れる氾濫原は表面温度が低く、比較的乾燥した植生域では高温域であることなどが分かる。

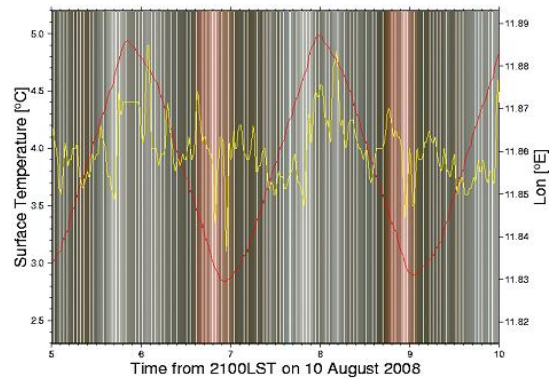


図6：8月12日にCryoWingで2秒毎に取得された各画像の平均色の時系列(黄色線は表面温度、赤線は緯度情報)。下の写真は画像例(左：氾濫原、右：ツンドラ)。

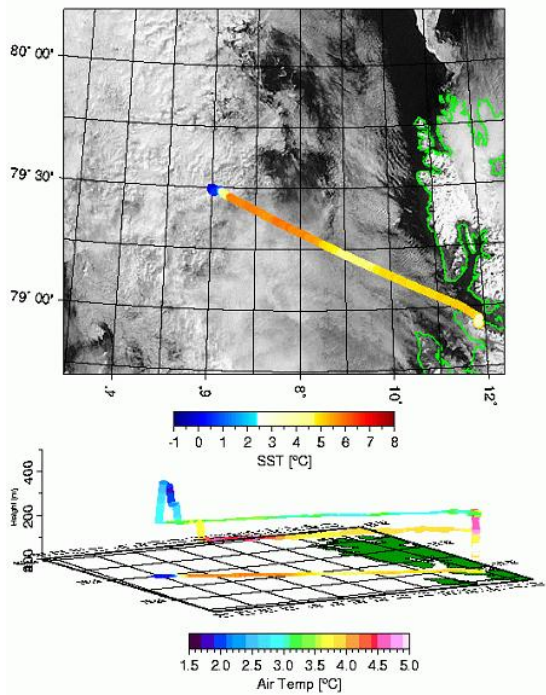


図7 : CryoWing で観測したフラム海峡上の海面水温 (上図) と気温 (下図)。

(3) 大気-海洋過程

さらに8月14日にはフラム海峡へ向けて片道150kmの長距離観測を行った。図7はそこで得られた海面水温(SST)(上図)と高度150mと250mでの気温(下図)の分布である。フラム海峡の東部は暖かい大西洋水が北極海へ向けて北上する海域であるが、そのSSTは西方に向けて4°Cから5.5°Cまで変化し、高度150mや250mでの気温でもこのSSTの変化に伴う気温上昇が観測されていた。この気温の上昇に伴う気圧の低下は約1hPaに及び、東西の気圧傾度を強化していた。さらに西方の氷縁域では、海水の融解の影響でSSTが0°Cまで急低下し、そのSSTフロントの水平スケールは約10kmであった。

(4) UAVの今後の展望

本研究課題で取得されたデータは、気象データが乏しい地域での気象予測可能性の研究や、氷縁域でのSST衛星プロダクトの検証にも応用可能である。海氷激減に伴う気象データ減少の影響をあらかじめ見積もるため、北極海に展開されているブイデータを用いた数値実験を行ったところ、ブイデータを取り除いた実験では局所的に数hPaの海面気圧の低下が見積もられ、海氷面の気温や風速に誤差が伝播することが判明した。今後、北極海の環境変化に伴って気象データが不足する事態に陥った場合には、気象データを補完するために本課題で使用したUAVによる機動観測が有効な手法の一つと言える。

本研究課題によって北極圏でのUAV観測が、大気・海氷・海洋・陸面の多分野に有効であ

ることが示された。UAV運用のコストパフォーマンスの向上や新しい搭載測器の開発、視程不良による観測の遅延など、課題も残っているが、スピッツベルゲン島ノーオルスンは滑走路沿いに「ラベン」があること、有人飛行機の往来が非常に少ないことから、UAV観測を行うのに最も適した場所であることが確認できた。本研究課題をきっかけとして、宇宙航空研究開発機構(JAXA)で2011年度に打ち上予定の衛星(GCOM)に関する海氷プロダクト検証の共同研究が採択された。また今回のCryoWingの使用実績に基づき、さらなるUAVの応用利用を目的とした大型研究課題(ノルウェー科研費)に共同研究者として申請中である。研究代表者の所属機関(JAMSTEC)はノルウェー極地研究所(NPI)と正式な共同研究を締結するための調整が進んでおり、北極研究をより国際的に発展させる動きがあり、本研究課題はその重要な契機となった。

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6件)

- ① Honda, M., J. Inoue, and S. Yamane, 2009: Influence of low Arctic sea-ice minima on wintertime Eurasian coldness, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L08707. (査読有)
- ② Inoue, J., T. Enomoto, T. Miyoshi, and S. Yamane, 2009: Impact of observations from Arctic drifting buoys on the reanalysis of surface fields, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L08501. (査読有)
- ③ 猪上 淳, 小林宏之, 2008: 2007年の夏季海氷減少の実態について - 貨物機から見た北極圏 -, *天気*, 55(6), 505-507. (査読無)
- ④ Inoue, J., J. A. Curry, and J. A. Maslanik, 2008: Application of Aerosondes to melt-pond observation over Arctic sea ice, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 25(2), 327-334. (査読有)
- ⑤ Inoue, J., T. Kikuchi, and D. K. Perovich, 2008: Effect of heat transmission through melt ponds and ice on melting during summer in the Arctic Ocean, *J. Geophys. Res.*, 113, C05020. (査読有)
- ⑥ Inoue, J., and T. Kikuchi, 2007: Outflow of summertime Arctic sea ice observed by ice drifting buoys and its linkage with ice reduction and atmospheric circulation patterns, *J.*

Meteor. Soc. Japan, 85(6), 881-887. (査読有)

[学会発表] (計 9 件)

- ① Inoue, J.: Observations of atmosphere and ocean/land surfaces using UAVs in Ny-Alesund (2008 AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, 17 December 2008)
- ② 猪上淳: ALERA を用いた北極漂流ブイデータの同化インパクト (日本海洋学会 2008 年秋季大会、呉、2008 年 9 月 25 日)
- ③ 猪上淳: 2007 年の夏季海氷減少の実態について—貨物機から見た北極海— (日本気象学会 2008 年春季大会、横浜、2008 年 5 月 20 日)
- ④ Inoue, J.: Storm impacts on Arctic sea-ice export and melting (2007 AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, 11 December 2007)
- ⑤ 猪上淳: エアロゾンデを利用した夏季北極海の大気・海氷観測 (日本気象学会 2007 年秋季大会、札幌、2007 年 10 月 16 日)
- ⑥ Inoue, J.: Effect of heat transmission through melt ponds and ice on melting during summer in the Arctic (CMOS-CGU-AMS Congress 2007, St. John's, Canada, 29 May 2007)
- ⑦ Inoue, J.: Application of Aerosondes to melt-pond observation over Arctic sea ice (2006 AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, 14 December 2006)
- ⑧ 猪上淳: 2005 年の北極海における海氷減少—ブイ観測から— (日本気象学会 2006 年秋季大会、名古屋、2006 年 10 月 25 日)
- ⑨ 猪上淳: 2005 年夏期北極海における海水の最速流出について (日本海学会 2006 年秋季大会、名古屋、2006 年 9 月 26 日)

[図書] (計 2 件)

- ① 猪上 淳, 菊地隆, 2007: 2005/06 年日本の寒冬・豪雪, 気象研究ノート, 216 号 (本田明治, 楠昌司編集: 第 19 章 2005 年の北極海における海氷減少の特徴), 193-199.
- ② 本田明治, 猪上 淳, 山根省三, 2007: 2005/06 年日本の寒冬・豪雪, 気象研究ノート, 216 号 (本田明治, 楠昌司編集: 第 20 章 冬季日本の寒さにかかわる北極海の海氷面積異常), 201-208.

[その他]

- ① 読売新聞 (2009 年 2 月 9 日掲載) 海氷異変 (上)「黒い北極海 温暖化加速」
- ② 東奥日報 (2009 年 1 月 1 日掲載)「北極異変に迫る」
- ③ NHK おはよう日本 (2008 年 9 月 18 日生出演)

- ④ NHK BS 今日の世界 (2008 年 9 月 17 日収録放送)「高度 1 万メートルから見た温暖化」
- ⑤ 日本テレビ (2008 年 7 月 8 日収録放送)ズームインスーパー
- ⑥ 朝日新聞 (2008 年 4 月 16 日掲載) 知っ得! 「北極点に氷がなくなる?」
- ⑦ 読売新聞 (2007 年 11 月 26 日掲載)「海氷大崩壊鮮明に」
- ⑧ 毎日新聞 (2007 年 8 月 16 日掲載)「北極海の氷、最小に」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

猪上 淳 (INOUE JUN)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター・研究員

研究者番号: 00421884

(2) 研究協力者

JUDITH A. CURRY

Georgia Institute of Technology・School of Earth and Atmospheric Sciences・教授