

## 第8回 環境サイエンスカフェ

テーマ 「極域から見る地球温暖化」  
～いま、北極や南極の極域の気候や環境に何が起きているのか？～

講師 榎本浩之さん（国立極地研究所 気水圏研究グループ 教授、北極観測センター長）

日時 2012年4月11日（水）18：30～20：00

会場 サロン・ド・富山房 Folio

参加者 42名



榎本先生：皆さん、こんばんは。サイエンスカフェということで、いろいろ楽しんでいただけるように材料を用意してきました。ただ、南極・北極、両極を扱うということで、かなり話が広がってしまいます。アウトラインをざっと流していくような感じになると思いますので、早過ぎると思ったら止めていただいて、質問してくださってけっこうです。

実は今日の後半のほうは、現場の観測風景の写真を並べています。私の紹介をこのように印刷していただいたのですが、中にアラスカ、南極、北極、スウェーデンという地名が出てきます。スウェーデンの話は今日では出てきませんが、スウェーデン隊に参加した南極観測の話が出てきます。南極には3回行っておりました、日本のJAREという南極地域観測隊で越冬隊として1992年から1994年にかけて行きました。その後は、2003年にオーストラリア隊に参加して、オーストラリアの砕氷船で南極大陸周辺の海水観測をしていました。

2007年～2008年はInternational Polar Year（IPY）といわれる年だったのですが、日本の南極観測が始まったのが1957年ですから、それからちょうど50年後という年ということで、世界的に極域の集中観測が行われました。特大のプロ

ジェクトがそのときにたくさん動いたのですが、日本とスウェーデン共同南極観測というものがつくられました。私はそのプロジェクトに参加したのですが、日本の昭和基地からスタートし、途中でスウェーデン隊の中に入って、スウェーデンの基地に行って帰ってくる行程です。この話が最後のほうで少し出てきます。

また、両極に行っておりまして、北極圏のほうは行って帰ってくるのが簡単にできますので、アラスカとスピッツベルゲン島という北大西洋の島を中心に、多いときは年に3回行ったり来たりしています。

これも後半でお話ししますが、今日お配りしたパンフレットの中に、「南極観測」「北極観測」「北極へ」という3つのパンフレットがあります。中身を説明する時間はありませんので、時々少しだけふれますけれども後で見たいと思います。

極地研究所のホームページに入りますと、南極のことがずらっと書いてありますが、北極はなかなか探しても出てこなかったのです。この南極観測のパンフレットは前からありましたが、北極のパンフレットは去年の12月にできたばかりです。これは新しく始まった北極プロジェクトに関連するです。私は以前は雪の野原に出て観測や実験す

ることが多かったのですが、最近はおつぱら資料作成と新しい研究活動を送り出すための作業をやっております。もうひとつ、今日お配りした「北極へ」というパンフレットですが、これはできてからまだ3週間ぐらいしかたっておりません。2011年10月の後半からスタートしたプログラムで、この4月から観測に出かけるというできたばかりのプロジェクトを紹介したパンフレットです。これについてはまた最後のほうでお話したいと思います。

それでは今日の話を始めたいと思います。地図を持ってきたのですが、必要に応じて出します。



南極大陸の地図と北極圏の地図があります。あまり見かけない地図だと思えますが、北極の地図と見比べると、北緯66.5°で切られた、このあたりだけを書いた地図が多いです。さらに少し広がってきても、日本列島まで入っている地図はありませんので、実はこれは特注でつくってもらっています。昨日、出来上がってきましたので、早速印刷して来ました。日本と北極の関わりは、やはり日本では大事ですので、日本を視野に入れて北極を見ようという意識でつくられている地図です。

これは今、配置が上下逆になっていますが、これは南極大陸です。白い大陸があります。下側は北極圏です。ここに海氷が浮かんでいます。グリーンランドがあって、氷床があって海氷がある、この組み合わせは同じでして、南極でも大陸と周りの海氷という組み合わせがあります。北極のほうは海というイメージが、南極という大陸のイメージがあります。下の地図のスケールが違うのでぴったり収まらないのですが、ちょうどこの南極大陸と北極海はほぼ同じ面積になっておりまして、こちらにはめ込めばちょうど収まるぐらいの面積

になっています。違いはと言いますと南極は大陸が中心にあって周りに海があり、北極は真ん中に海があって周りに大陸があるということで、似ている部分と違う部分があります。南極のほうはここを中心にかなり同心円状の大気の流れがあるのですが、北極のほうは北極海を取り巻く大陸上で複雑な大気の流れが起きています。

南極昭和基地では国際地球観測年IGY(1957)より気象観測が開始され、50年以上観測が実施されてきた。南極で成果をあげたオゾン観測、温室効果ガスの観測データは北極圏での観測でも蓄積されつつあります。北極圏では海氷面積の減少、急速な氷河後退、グリーンランド氷床の体積減少が起きています。南極では異なった特徴を見せ、海氷面積はわずかに増加しています。南極大陸の雪氷量も内陸の観測域では増加を示していることがわかってきました。その一方で縁辺部では急激な減少を示している地域もあります。今回のサイエンスカフェでは、極域に現れた地球温暖化の影響と、南極観測、新しく始まった北極観測の取組みを紹介します。

【図1】

(図1)はパンフレットに書いていただいた今日のアブストラクトなのですが、1957年に南極観測隊が出発したIGYという年から南極ではいろんな観測が進められました。去年、テレビドラマで「南極大陸」というものがありました。あれは関係者からみまるとかなり賛否両論で、関心を持っていただけるのはとても歓迎しますが、全部正しいかといいますと外れているところもあります。あれは1957年のお話でした。当時は沿岸の基地に行くだけでも精いっぱい、内陸にはなかなか行けなかったのですが、それが今は内部のほうまで観測ができるようになってきています。北極のほうはもともと、北極圏のいろいろな国々が自分の領土ということで観測をやっている状態、なかなかそこに入っていけない状態でしたけれども、1990年ぐらいから日本も積極的に北極観測に入っていく、この数年間、いろいろ北極に関して調べようという意見が集まりまして新しいプロジェクトをスタートするということにいき着きました。そのようなお話をいたします。

(図2)はパンフレットに入っているもので、私自身のメモ用です。パンフレットに何が書かれているかという中身自体は、皆さんにはパンフレットを見ていただきたいと思います。

日本は南極にいくつかの基地を持っていて、





【図2】

途中で閉鎖されたところもあります。下の地図では右上にあります。沿岸に「昭和基地」があります。内陸に入っていくと、「みずほ基地」がありますが、この基地はもう閉鎖されています。それよりさらに内陸に入っていきますと「ドームふじ基地」があり、1994年から使用開始されました。人が越冬することはなかなか難しいので、冬も滞在する活動することはできませんでした。今は休止状態で新しい観測の利用を待っているところです。「あすか基地」もありましたが、プロジェクトで使われて、現在は閉鎖されています。「南極観測船しらせ」は2日前に晴海ふ頭に帰ってきました。新聞に出ていたのですが、舵が壊れたり、強力な船なのですから、途中の氷にはばまれて今年には昭和基地までたどり着けなかったということがありました。新世代の「しらせ」は出航してまだ間もないのですが、最近けっこう氷の状況も厳しくなってきました。1世代目の「しらせ」は昭和基地まで行けなかったことが1度あります。

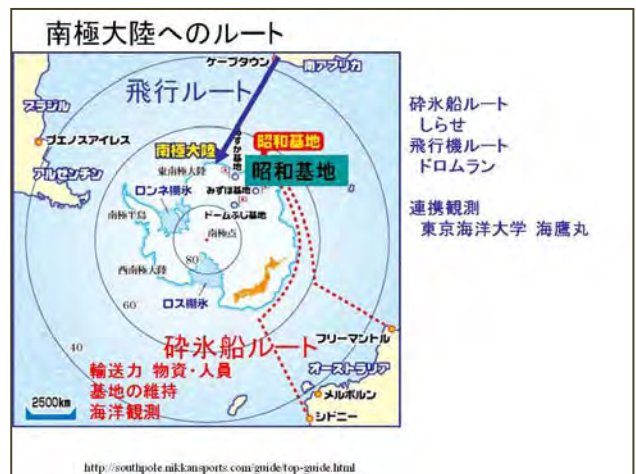
これが昭和基地です。こういった建物が並んでいます。気象観測・オーロラ観測・雪氷観測といういろいろな観測が現場で行われています。付近の水中にはこういう生物もあります。いろいろな隕石を発見したり、セールロンダーネ山脈というところに行って地質調査の観測をしたりしていますが、さまざまな観測を50年間やってきました。海外からの観測者も受け入れておりまして、国際観測の中で大事な役割をしています。

この映像で紹介されているのは高校の先生です。現職の教員の方に参加していただいて、日本と授業をやるということも行われています。日本との授業風景です。

南極にはシンボルとしてペンギンがありまして、

最近、ペンギンの頭にカメラをつけて、水中でどういう行動をしているのか撮ってくることもできるようになりました。この中で音声を流すことができませんが、いろいろな観測をやっているというムービーを簡単に見ていただけます。新しいレーダーをつけまして、500キロ上空までの大気を調べるようなレーダーをつけるというものがあります。これからは少しずつこの中身についてお話ししていきたいと思います。

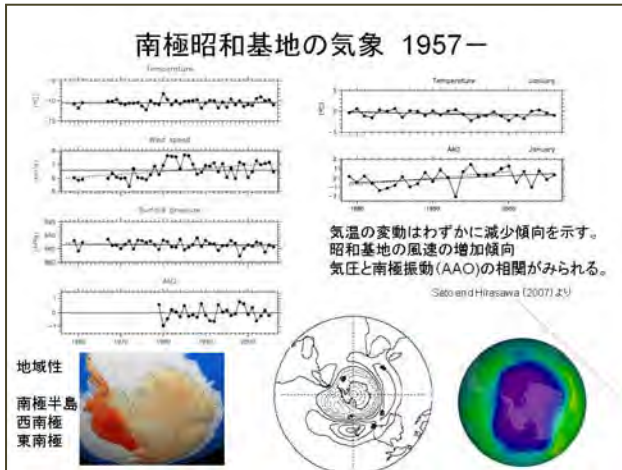
これが南極大陸の地図でして、昭和基地はこのちょうど真下に隠れて見えないのですが、このあたりにあります。これが南米、アフリカ、オーストラリアです。ちょうど大陸が120°おきで3つの方向に伸びておりまして、南アフリカのこちらがインド洋、こちらが大西洋で、インド洋の南のほうに日本の基地があります。内陸にはみずほ基地がありまして、さらに奥に入りますと、ドームふじ基地があります。ここでボーリングをして深層掘削というかたちで、より深い氷を取り出して過去の気候を探るということもやりました。



【図3】

今日のテーマなのですが、極域から見る気候環境、特に温暖化というところなので、かなり最近の時間にフォーカスをあててきました。昔の話は比較で出すという感じです。日本から南極に行くには、船で日本から出たあと、オーストラリアのフリーマントル経由で南極に近づいていき、帰りは南極からシドニー経由というのが普通のルートです(図3)。一方であまり知られてないと思いますが、ここに青い矢印を書きましたけれども、飛行機ルートがあります。例えば今日夕飯を食べた後、南極に行って来ますと。今日中には無理です

けれども、3日後ぐらいには南極大陸に着けるぐらいという、船に比べればずっと早く行けて終わったらすぐ帰ってこれられるということで、忙しい時代に向けての新しい方法です。私は2回南極大陸に行ったのですが、1回目は船で、2回目は飛行機こちらで行きました。後でこのへんのお話もいたします。



【図4】

昭和基地の気象観測は1957年のIGY、ちょうどタロとジロの話があったあの時期から始まりました(図4)。地球温暖化とすごく騒がれていますが、南極大陸の気温はまだまだ冷え切ったままで、それほど変化しておりません。ですが、じわじわと変化してきているのではないのかということがあります。これは1年間の平均気温です。マイナス10数度のところに横になっていまして、上がっている、下がっているとは特に言えません。1月の気温を見ますと大きな傾向ではないのですが、少し下がって寒冷化してきている様子も見られ、地球温暖化と言いながらもここでは寒くなってきているように見えます。顕著に変わってきていることとして風が強くなってきていることがあります。全部空気の中の話ですから、風が強いということと、夏寒い、あるいは温度が変わらないということがきっと関係しているのですけれども、全部つじつまが合うように解説できるところまではまだいっておりません。

ここに「南極振動」と書きました。日本の冬の気象については、北極振動という言葉がよく出てきます。その南極版が「南極振動」といわれます。真ん中に南極大陸、外側に3つの大陸があって、ここにいっぱい渦の線が書いてありますけれ

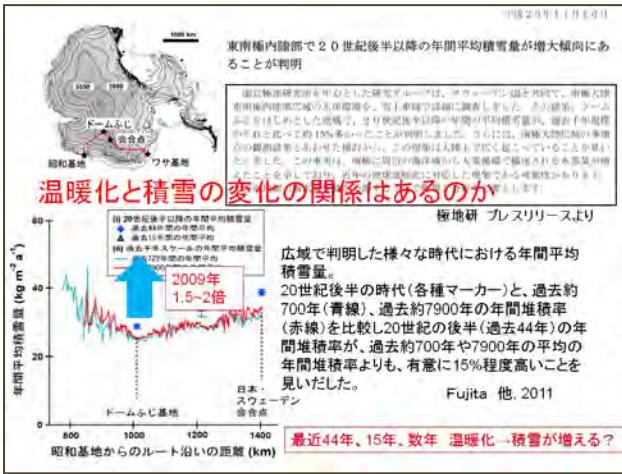
ども、これは南極の周りの上空の大気の気圧の高低だと思ってください。南極の周りにはちょうどお椀のような感じでへこんだ状態になっていまして、これが西風で高速に回っています。

外と中の空気のやり取りを妨げ、高速で回っていて外からなかなか空気が入ってきませんが、これがいびつになりますと急に入ってきます。ロクロで回している焼き物を考えていただくと思いますが、下手な人がやるとゆがんで揺れてしまい中と外のやり取りが始まります。しかし、上手に回っているときは閉じてしまいますので、外の大気と中の大気のやり取りが少ないということで、オゾンホールとこの極渦というのは強い関係があります。極渦が強くなりますと、外と中の大気のやり取りが少なくなってきます。この真ん中がへこんでいて外が膨らんでいるというパターンが、強まるときと弱まるときがあります。回転が速くなったり遅くなったりゆがんだりということですが、それが「南極振動」と言われているものでして、南半球では注目されております。それが夏でも回転が速くなってきているということがあります。この大気の流れによって、中緯度をきていることが大陸上までなかなか伝わらないことがあるようで、閉じた世界になってしましますが、こういった守られている南極大陸も外のほうからじわじわと影響がきています。

この飛び出しているところは南極半島といいますが、南米との間にドレーク海峡があるのですが、そちらのほうでは氷山が崩れる姿や、関東平野の何倍という大きな氷が割れて沖に流れてきたというニュースがよく出てきます。これは一番低緯度側に飛び出しているところで、ここは変化が起きているようです。また、南極には東も西もなさそうですけれども、経度の0度線を境に左のほうが西南極、右のほうが東南極といいますが、この図では西南極のほうが赤く塗られています。これまで南極は全部寒冷化してきているということが長く言われてきたのですが、調べてみますと、西南極は暖かくなっているということが最近分かってきました。東南極は冷えてきていると言われていいますが、統計のとり方によっては、微妙なところで上がったり下がったりしています。顕著に分かっていることは、南極半島、西南極のほうが暖まってきたということがあります。これは上空の



オゾンでして、閉じている空気の中にあります。今回、雪や氷の量も目立ったことが最近分かってきましたので、そういうこともこれからご紹介します。



【図5】

南極大陸を逆に書きました (図5)。

昭和基地を左にして、ドームふじ、会合点ワサ基地と書かれています。これは 2007 年に私が参加した観測隊のルートでして、昭和基地から雪上車で出発してまず約 1,000 キロを1ヶ月かけて走りドームふじに着きます。それからまた1ヶ月かけてスウェーデンのワサ基地まで雪上車で走りました。その間に雪の積もり具合を調べてみたところ、増えていることが分かりました。過去の堆積量などと調べて、20世紀の後半の雪が増えていることが分かりました。測り方をご紹介します。従来はこうやって測っていました。2メートルほどの竹の棒が雪原に立ててありまして、1年に1回行ってその高さを測るのです (図6)。

### 南極の積雪

- ・ 雪尺観測  
～30年以上
- ・ 最近では自動観測や衛星観測(表面高、重力など)も利用されている。
- レーダー観測

写真1 雪尺の測定

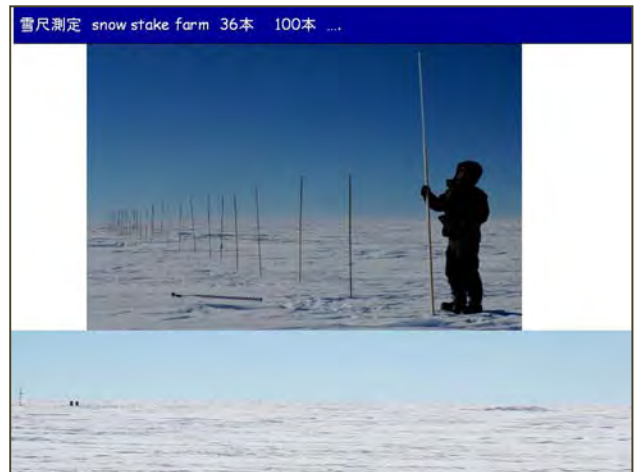
写真2 10mコーリング

最近の南極における雪氷観測では、ドーム基地における氷床厚層やGPSを用いたの測量など、ハイテク技術の活用が進んで行われています。これらの雪質は1984年から1988年にかけて行われた、第28次南極地域観測の時の内陸旅行での雪氷観測の様子を撮影したものです。当時でも、現在のハイテク技術の準備段階とも見える観測方法が用いられていましたが、ここに紹介しているのとは最も原始的なローテク観測です。 高知大学 菊地時夫

【図6】

毎年だいたい埋もれているのでその高さの差から

1年間に5センチ積もりましたとか図ります。ドームふじまで行くと1年間に8センチしか積もりません。ほとんど乾燥していて砂漠みたいなものです。沿岸のほうに行くと何十センチも積もりますが、そういった測定を30年間続けております。このような地味な観測は日本しかやっていないくて、他の国はすぐにやめてしまってもっといろいろな方法を考えていますが、日本は新しい方法を考えながらも一応これだけは必ずやっています。この雪尺は2キロに1本あり、雪上車のスピードが人が歩くぐらいの時速4キロなので、30分に1回雪上車から降りては測るというのを、30年間以上続けています。ドームふじまでは1,000キロなので500本以上ありまして、それを測り続けているわけです。



【図7】

### 雪氷サンプリング 観測風景

4-2m pit works

Aerosol

Chemistry, isotope, trace metal

(Obs. and analysis F. Nakazawa)

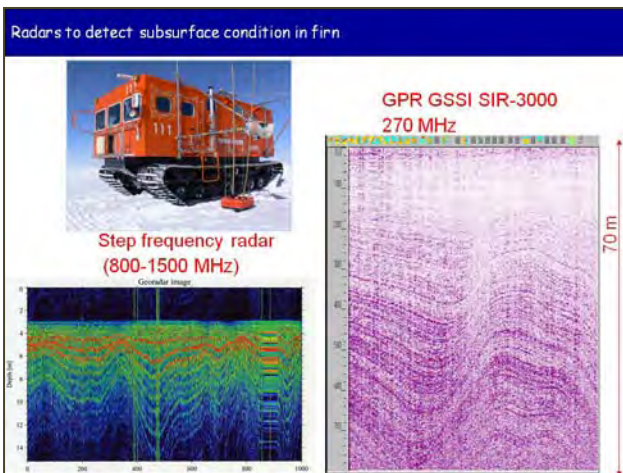
【図8】

雪景色というのは均一ではなく、ここでは積もっているけれども向こうではへこんでいることがあり、竹ざおを立てるところだけ盛り上がっていてすぐ横はへこんでいることもよくあるのです。こ

これは100本とかライン上に並べたり、格子状にたくさん並べたりして場所によってどれだけずれているかを調べたりします。一方では地層の観測のように、穴を掘ってこの下に人が潜って雪の層構造で1年間のサイクルを調べて、これが何年前だとか、あるいは何か不純物が落ちてきているとか、空から落ちてくる物質の変化があるかを調べたりします。先ほどの雪尺は1年に1回しかデータが入りませんが、この方法ですと一気に何十年分ものデータになります(図7、図8)。



【図9】



【図10】

もっと新しい方法はレーダーという方法でして、これは日本が持っている大きな雪上車なのですが、中で立って歩けるぐらいの高さがある大きなキャンピングカーと想像していただければいいと思います(図9)。これにぶら下がっているのがレーダーでここから電磁波を出して、雪の中の層構造図を数十メートル先まで見ることができ、それを数えることによって雪の量が分かります。海底ですと超音波で測りますが、ここでは電磁波を使います。

あとは先ほどのように穴を掘ってこれが何年前だということを確認し、場所によって層が厚いところは1年間に雪が多い、層が薄いところは雪が少ないということを調べたりします(図10)。



【図11】

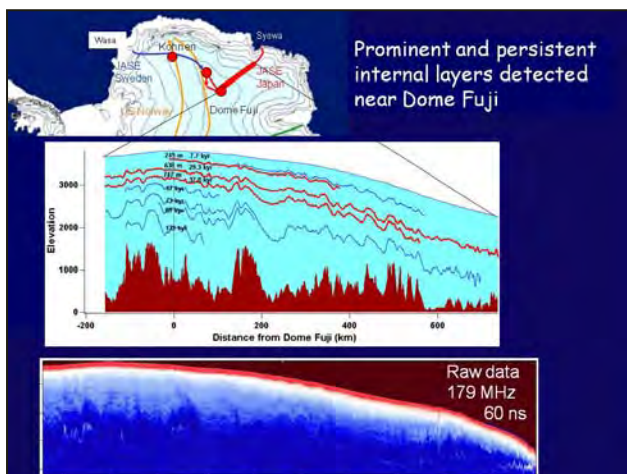
これはスウェーデンの雪上車でVOLVOと書いてありますが、雪の中を探るこういうレーダーアンテナがついていて、ひたすら神経を下に向けて走ります(図11)。もう少し強力なレーダーがありまして、ここにこういう普通のテレビアンテナと変わらない見かけのものが飛び出していますけれども、これで氷床の2,000~3,000メートル下まで探り、この下に何があるのか、山脈がある、あるいはへこんでいる、また最近話題になっておりますが、氷床下湖があるみたいだということもこれで探りながら走ります。周りにはぶつかる物がないので、運転手もとにかくデータと下に何があるのかばかり気にして走ります。これはスウェーデンの雪上車の中ですが、中にはモニターがありまして走る実験室のような感じです。(図12)



【図12】



ただ人が飛ばされるぐらいよく揺れますので、全部しっかりと防振台につけられて縛りつけたまま走ります。スケールが分かりにくいですが、ここの頂上までここまで北海道から東京と同じ1,000キロぐらいあります。よく見るとその中に島が入っておりまして、このような特徴的なところを追いかけますとこういうふうに出てきて、これが何年前だというのをボーリングの掘削などから確認しておいて追いかけてやりますと、どこにたくさん雪が積もっていてどこが少ないかが分かります。

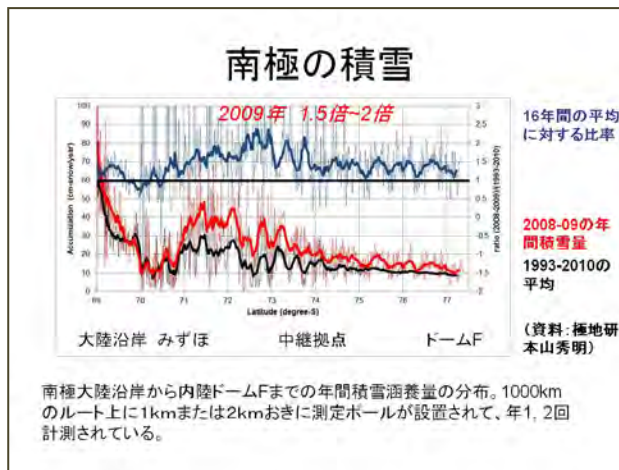


【図13】

よく見るとでこぼこしていますが、この下に基盤の地形、下に山脈が書かれていますが、非常にこれと一致します。これによって盛り上がり下がり、流線みたいなものがありまして、それに表示が応答しながら流れています。(図13) 以前に飛行機で南極上空を飛ぶときに、レーダーを持って飛んでいたのですが、まだまだ高い上空を飛んでいて、雪原がすぐ下に迫っていて、墜落してしまったという事故がありました。なぜ墜落してしまったのかという事故解明から、実はレーダーが見ていたのは雪の表面ではなく雪の内部や底面であった、それで雪面をくぐって下まで届くのだということが分かりました。そういう事故をきっかけにして、今でもスノーレーダーの研究が進んでいます。

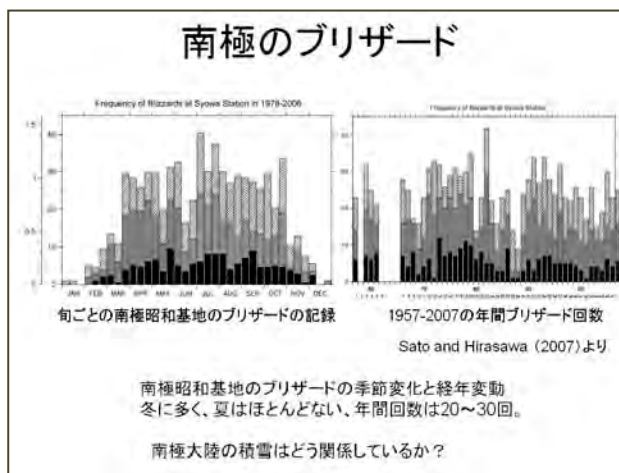
先ほどのスノーレーダーとピットの観測から、最近44年間雪が増えているということが分かったわけなのですが、雪尺も捨てられません。雪尺で調べてみたところ、黒いところが今までの平均レベルですが、海岸線から内陸のドーム富士に向かって海岸線は1年間に50センチぐらい積もり、

内陸は10センチ以下というようにだんだん減っていき、ところどころでこぼこしています。このでこぼこは地面の下の岩山に応答しています。



【図14】

それが2009年にはこの赤いラインになりました。今までの揺れからは予想できないぐらいはるか高いところに行きまして、これが1年だけで終わるのか、これからそういう時代に入ってしまったのかは分からないところです。温度はあまり変わっていませんが、雪の量は増えているようだと出てきました。温暖化すると水蒸気量が増えて、温暖化すると雪の量は増えると言われていきます。雪として降ってくるところでは雪の量が増えるのですが、場所によっては雨になってしまうかもしれませんので、雪の量としては減ります。南極は十分寒いので雪のまま降ってきますが、シベリアやアラスカに行くと、そのあたりが怪しくなってきます。(図14)



【図15】

それから、風が強くなってきているという資料がありました。(図15)ブリザードという吹雪の

呼び名がありますが、最近それが増えてきていて年間 20~30 回あるのですが、昔は夏日にはブリザードはないという穏やかなときでした。「南極大陸」のお話には夏にブリザードのシーンが出てきたので、ちょっと嘘がありました。それが実は最近では嘘ではなくなりまして、夏のブリザードが増えてきました。夏の間にも南極観測船が昭和基地周辺で活動している最中にブリザードに襲われ、何も活動できなくなるということが最近頻繁に増えてきました。傾向としてこれから増えていくものなのか、何か特別なパターンに入っているのか分かりませんし、まだ統計資料も少ないのですが最近増えてきたということがあります。実は、去年、おとしは多かったのです。2日前に帰ってきた南極観測船「しらせ」が昭和基地まで行けなかった1つの原因は、昭和基地の周りに、定着氷という海水が何年か分流れ出さずにたまっている平原があるのですが、その上にたっぷりクッションのように雪が積もっておりまして、その雪にいくら体当たりしてもクッション付きの氷を割ることができないということがありました。また、浮いている氷は厚くなるとなかなか成長しなくなります。外が寒くても下の水が凍るところまで寒さが伝わらないので成長しないのですが、上にたっぷり雪が乗ってくると重みで沈み、上の雪が凍りつきます。どんどん急激に成長できるということで、雪は上向きに氷を成長させることがあるということが、このあたりの特徴になっています。

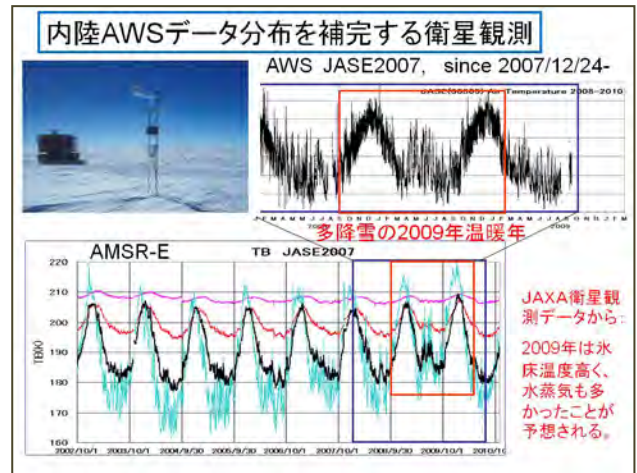
これは南極にある気象ステーションなのですが、ほとんどが無人です。(図 16)



【図 16】

昭和基地はここで、このへんにいっぱい点がありますがほとんどが無人で電波で各国に送ったりす

るステーションが多いです。日本は赤丸のあたりを担当しておりまして、他の国はそれぞれ自分の基地のあたりを担当しています。人が滞在している基地はだいたい沿岸にだけありまして、冬も人がいる基地はさらに数えるほど少なくなります。



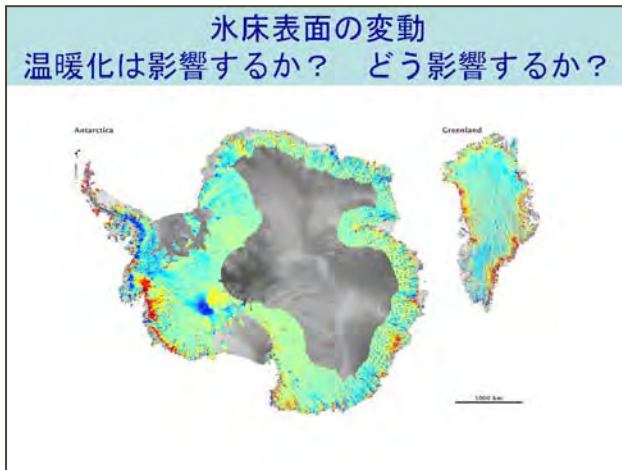
【図 17】

これがAWSという自動観測機の写真です。(図 17) ここにソーラーパネルなどがありまして、大事な部品は雪の中に埋めています。これは 2007 年 12 月 24 日に私が行って取りつけてきたのですが、アメリカ経由で日本にデータが届くようになっていました。この黒いグラフを見ますと、夏に温度が上がって冬に下がりますが、揺れが大きく、1日の間に 36 度ほどぐんと上がってしまうこともあります。昼間に日差しがあつて夜に日差しがなくなるところではそういう温度になったりしますが、ここでは日差しのない真っ暗闇の世界で、それだけ温度が上がったり下がったりします。突然やってきて大変驚くのですが、先ほど極渦がありましたように、中緯度から普段閉じていてなかなか外から入ってこれないものが、時々破れて乱されるときがあります。

また地面付近と上空の空気の温度に非常に差があります。足元と頭の位置でかなりの温度差があります。そういったところでは少しでも風が吹くとかき混ぜられてしまうので、大きな温度差が出ます。平均してみますと、冬は寒くて夏は横ばいでほとんど上がるというところがあるのですが、先ほどお話しました雪が降った 2009 年は、実は普段のように下がりにませんでした。このラインよりもはるか上に出ておりまして、冬の間なのに盛り上がった部分があります。冬の気温が暖かかった年は雪も多く、雲がたくさん入ってきて雪を持って



きたみたいだということがありました。この気温のパターンですが、ぽんと飛び上がっていて冬に下がり、真横に進んでまた上がるということで、どこが一番寒いのか分からないので、どこが中心か分からない冬という意味でコアレス・ウィンターと呼ばれています。ぽんと飛び上がって短い夏になって、また長い冬になります。高緯度の気温パターンの特徴です。



【図18】

温度の話をしてきましたけれども、次に氷の話をしたと思います。(図18)先ほど、レーダーを雪上車につけて下に向けて調べるとお話いたしました。今度は人工衛星から雪面を見るためのレーザーあるいはレーダーを使って、氷の高さを測量することができます。空からレーザービームを出して、跳ね返ってくる時間で表面の高さを調べることができ、レーザービームあるいはレーダーという電波でも同じようなことができます。そうやって調べてみますと、赤くなっているところは高さが急激に下がっているところ、青いところは増えているところ、黄色いところは中立です。これが南極大陸、こちらはグリーンランドですが、縁辺部に赤いところがあります。ここは1年間に何メートルも急激に下がっていることがこのあたりに出ています。グリーンランド側は10メートルを超えるような下がり方もしています。内陸のほうで雪が増えているというお話を先ほどしましたが、温暖化すると水蒸気が増えて降ってくる雪の量は増えますが、このへんが下がっているのはなぜでしょうか。グリーンランドも海外線のほうは下がってきています。氷床の高さを変える原因は何かということですが、これが原因ではないかという意見がありましたらいかがでしょうか。

会場：融けるのが早いのではないのでしょうか。

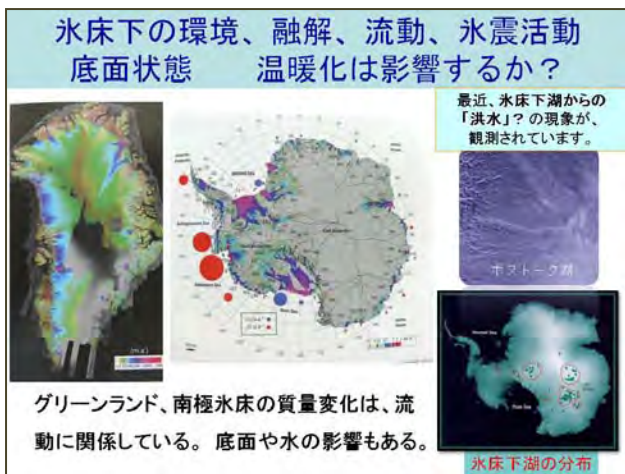
榎本先生：融けるのが早いのも1つあります。先ほどこちらのほうを西南極と言いました。こちらのほうは赤いところはないのですが、このへんに赤いところがあるのは解けているから。

それで表面が下がっていくのが1つです。まず融解しているということですが、レーダーだけではなく他にも原因があります。

会場：崩壊ですか。

榎本先生：崩壊です。がらっと崩れて落ちてしまうことが、実は南極大陸は非常に大きく、そのときに溶け水というものが働きます。潤滑剤、あるいは破壊するものとして働きます。ここで灰色に塗られているところは「棚氷」といわれるところですが、びっしり浮いている氷があります。ここが一気に崩れ出すことが昔起きました。そのときも崩れる前に、解けて崩れたのではなく、解け水が一面を覆っている状態が観測されました。その解け水が氷の隙間に入っていき、解け水の圧力と温度により氷がもろくなり動きやすくなってしまふということがあります。これは浮いている氷でした。こちらのほうは浮いている氷ではなく、下に岩盤があるのですが、かなりの部分が海面下です。氷が重いので岩の上に乗っていますけれども、薄くなっていけばやがて浮いてしまうようなバランスになっています。そこに水が入ってきますと、その水が下部の水圧を変化させて危くするということがあります。今研究者の間ではこのあたりの氷が危ないのではないかと、解けてなくなる分はないかもしれないのですが、解け水が何か新しい作用をしているのではないかとということです。グリーンランドもそうなのですが、急速に動き始めた氷がありまして、そういうことが注意されています。

南極大陸の絵がありましてここに赤丸が書かれています。大量に氷が海に流出している不安定な地域です。東南極のほうはそういう報告はほとんどありません。氷の下に水があることは昔から分かっていたけれども、最近そこに非常に注目が集まっています。(図19)

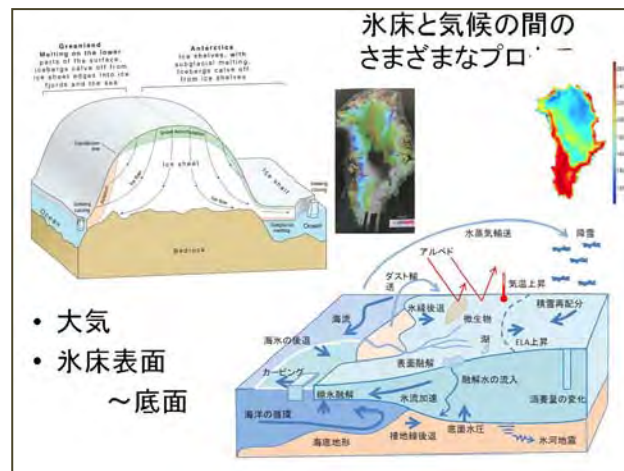


【図 19】

前から有名だったものにポストーク湖があります。2,000～3,000メートルという厚い氷の下に水があり、それも深さ何百メートルというもので琵琶湖ぐらいのサイズがある湖がありまして、最初、氷床の表面を見ていたら非常に平らな部分があるということで気がつきました。どうしてこんなに平らなのかということで、実はこれは浮いていて下に水面があるということが分かってきて、ここだけではなく調べてみますとたくさんあることも分かってきました。今、氷床の観測の1つの分野はこの氷の下にどれだけ湖があってどんな影響を氷床にするのか、また、水があるところには生物がいるだろうということです。生物学者、特に宇宙極限生物の研究をしている人が注目しまして、この水を汚さずにとってきてほしいというオーダーがあったのですけれども、最近ここにロシアが掘削機を入れました。そこにオイルなどが流れ込んでしまうと何十万年も閉鎖されてきた環境に一気に汚染物が入って、生き延びてきた生命体がどうなるか分からないということで、湖に着く少し上のところでドリルは止めていて、技術が進んでから入りましょうということになっていたのですが、ロシアはもう進んだと思ってそこに投入したようです。その後どんな観測ができたのかはまだレポートが出てきておりませんので、どうなっているのかは未知のところですが、これから結果が出てくると思います。

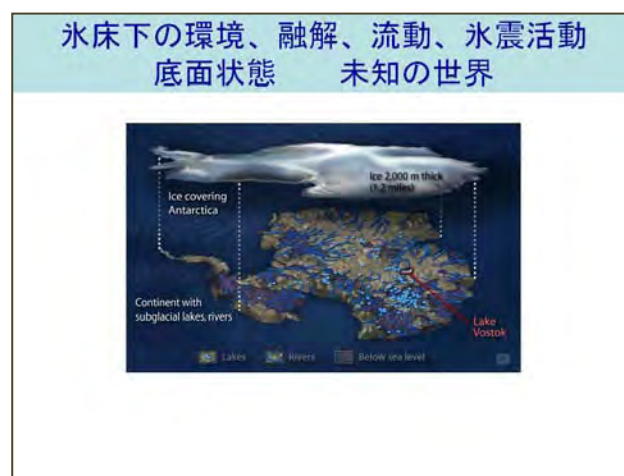
これは南極大陸やグリーンランドの様子を書いたものです(図20)。右半分が南極大陸のイメージです。降った雪が積もってこういうふう押し出されて流れていきます。ここに表面が塗られていますが、これは雪が積もりますというイメージ

です。どこも解ける部分は書かれていません。ほとんど積もるだけで、減るとしたらここから流れ出して割れている分だと、これが南極大陸のシステムです。



【図 20】

グリーンランドはここから左半分のものなのですが、この部分は降ってきて積もります、でも下流のほうは解けています、という両方の様子が入っているのがグリーンランドで、南極は降るだけ、ちぎれて流れ出すというシステムがほとんどということになっています。グリーンランドのほうは、融解する部分と割れて流れ出す部分が 50 パーセントずつだと言われています。IPCCレポートというものがありますけれども、そこで計算に入っていたり予測されているのは、実はこの解ける分だけです。割れて出てくる分はだいたいこんなものだろうという、これまでの観測結果が入っているだけで予測がうまくできていませんし、予測するだけのまだ知識がないというのでこれをどうにかしないということがあります。



【図 21】

今日お配りした北極のパフレットの中にはこ



のような絵が出てきまして、それをしっかり調べに行きましょうというプロジェクトの話がその中に入っています(図2 1)。表面に積もる、解ける、水が下に落ちていく、そこで圧力を上げて氷を浮かばせたりスムーズに出したりしていきます。薄くなり始めた氷はやがて浮力に負けて余計に浮いてしまって後ろに戻っていくことが起きます。これはスイスなどで氷河の末端にダムをつくりますと、水位が上がってきます。そうすると氷が浮いては割れ、浮いては割れ、と一気に氷が下がってくるという人工的な現象が起きるのですけれども、それが自然界の中でも急速に起きるかもしれないとなっています。薄くなり始めた氷はさらにもろくなっていきます。

この上のほうは解けていると観測されているところなので、解けてなくなる以外にその水がどういう役割をするのかということです。これはあまりご覧になった方が少ないと思いますが、何でしょうか。これはお配りしておりませんので入っておりません。南極大陸を上を持ち上げました。

会場：真ん中がへっこんでいますね。

榎本先生：南極大陸は真ん中がへこんでいます。へこんでいるので、もし氷をぼんととってしまうと、水がざっと流れ込んでくるという水面下の世界なのですが、一応これは氷が乗っている下に何があるのかというところですので、海の水は入ってきてないのですが、実はこれは川の絵です。南極大陸の下に岩盤がありまして、その間に湖があるというお話をしましたが、その湖の水が急に抜けているみたいだと最近発見されました。大陸の下に水路があるようなのです。それをもっともらしく、河川がたくさんあるような絵になっておりますけれども、レーダーの観測や、この地形には真ん中にきっと川が流れているはずだということから描かれた図です。確かにこちらの沿岸のほうで、急速に動き始めた氷河の地域と水脈が関わっているということが分かってきました。南極大陸をコントロールしているところに、底にある水がかなり関係があるということが分かってきました。

会場：レーダーで分かるほど精度出るんですか。

榎本先生：レーダーでは地形だけしか分からないです。でもこの地形にはこの圧力、レーダーの電波には水があると強く返ってきます。それでそういうものを統合してここには水がありそうだというところを描いたりしています。ある程度厚さや氷の重みが必要で、融点に達するかどうか、まさに今、いろんな研究者がどこに水がある、ない、そういったことを調べようとしています。水があると、つまり解けているところでは下のほうにいくといったん解けた氷だということ、古い氷がとれません。

### 北極観測

オゾン観測、温室効果気体の観測データは北極圏での観測でも蓄積されつつあります。

北極圏の広域では海氷面積、氷河後退、氷床の体積減少が顕著に起きています。

北極圏に現れる顕著な温暖化は極域増幅(Polar Amplification)とよばれその仕組みには不明な点が多く残されています。

その解明に向けて新たな取り組みが始まりました。

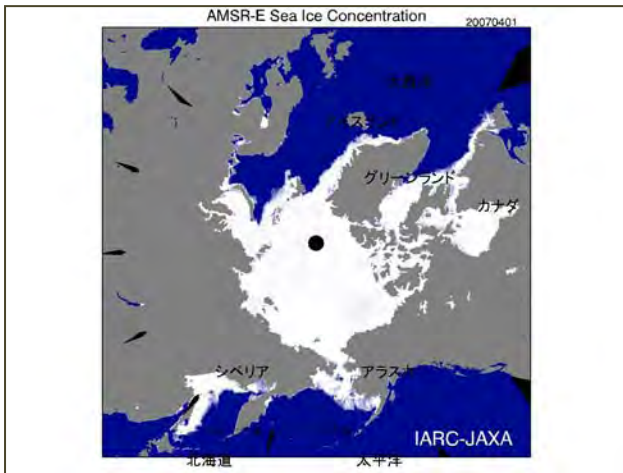
【図2 2】

CARP II 10年毎の北極研究課題提案

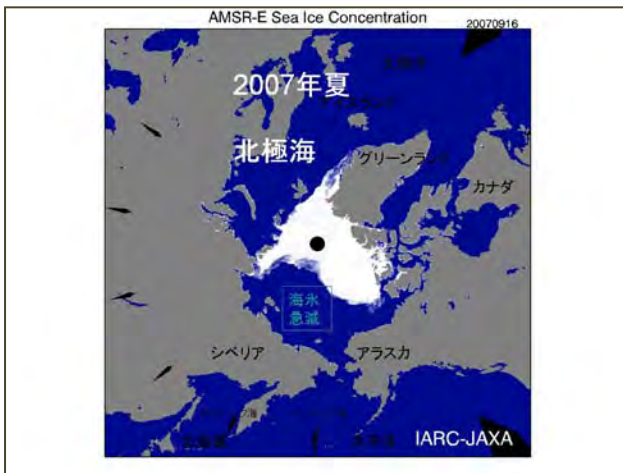
【図2 3】

それではここから北極の話に切り替えていきます。北極観測は、北極での現象がありまして、いろんなところで解けている、あるいは北極の海水が解けたなどいろんなレポートがあります。南極に比べてこちらはとても多様で、植物もありますし、生物も豊かですし、様々な要素があります。北極観測とひとことでは言えない、それぞれ私の

北極みたいな得意な地域があります。ある人はシベリア観測が北極だと思っけていますし、ある人は北極海に船で入ることで北極観測を実現しようとしています。

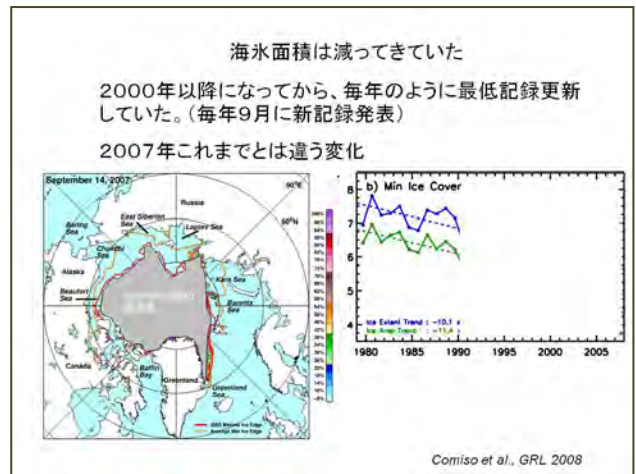


【図 2 4】



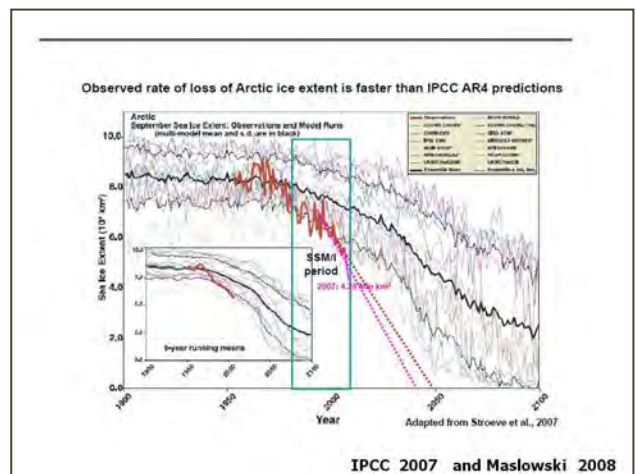
【図 2 5】

これは 2007 年に話題になりました、北極の氷が減ってしまったというときの夏の海水の分布図です (図 2 3、2 4)。アラスカ、シベリア、これはデータがないところで、北極点です。普通の夏ですとこのへんまで来て夏に氷が減ってここまで減りましたねということで終わりなのですが、この年は止まらずに 9 月中旬まで北極点まで氷がなくなってしまうのではないかとというぐらい、ずっと減りました。もう 1 回繰り返していますけれども、毎日の氷の様子がありまして、ここはオホーツク海、ベーリング海です。海水の研究者は、だんだん減ってきている、これから先も減っていくと一応予想はしておりましたし、IPCC レポートもこの年に、減るはずだとレポートを出したのですがけれども、その予想よりもはるかに早く減っ



【図 2 6】

てしまい、研究者の間で反省文のようなものが出ました。予測できないのは、知らないプロセスがまだまだたくさんあるからだということがあります。確かに北極は温暖化しているのですがけれども、こんなに早く氷がなくなるとは思いませんでした。2000 年代に入ってから、毎年のように記録更新しておりまして、最低記録がどんどん増えていきました (図 2 6)。2005 年の夏、ここまで減り話題になりました。このグラフを見ていただきますと、1980 年から 2005 年、氷が減っていき、2007 年にはここまで減りました (図 2 7)。グラフで見るとストーンと落ちてしまい、この点々のところを予想しておりましたのですがここに来てしまいまして、このまま下向きにいくのかというのが次の関心になりました。ラインがたくさんありますけれども、将来温暖化すると、このようにして多分少なくなっていくだろうと予想しておりましたが、実際の観測はこの点々のこちらのほうに向かいそうだということです。

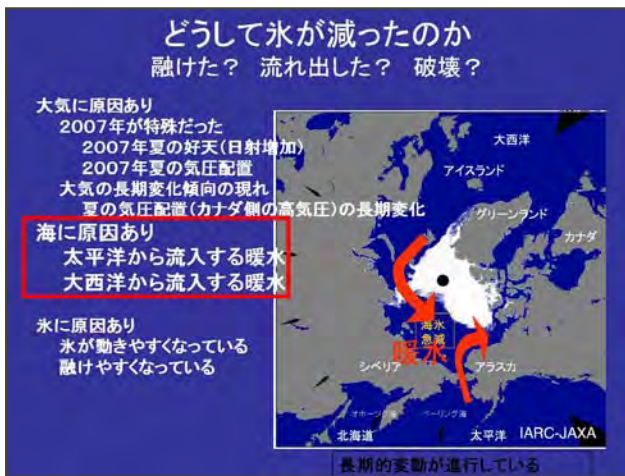


【図 2 7】

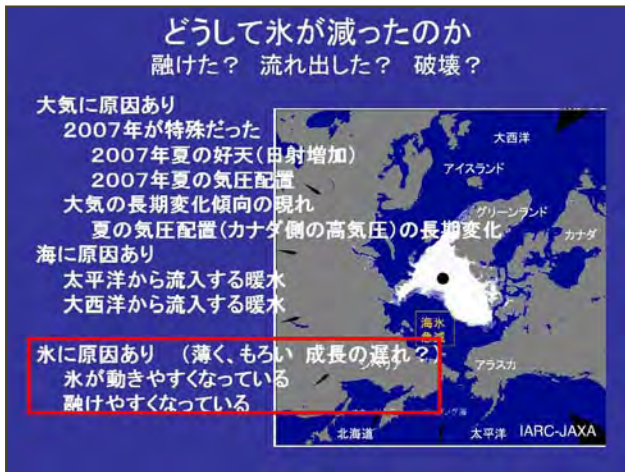




【図 2 8】



【図 2 9】

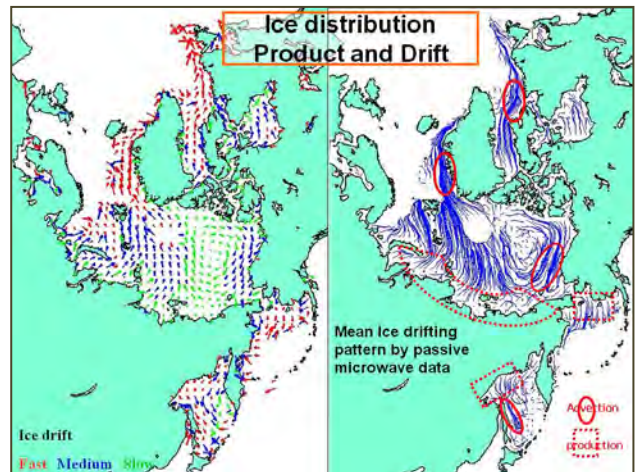


【図 3 0】

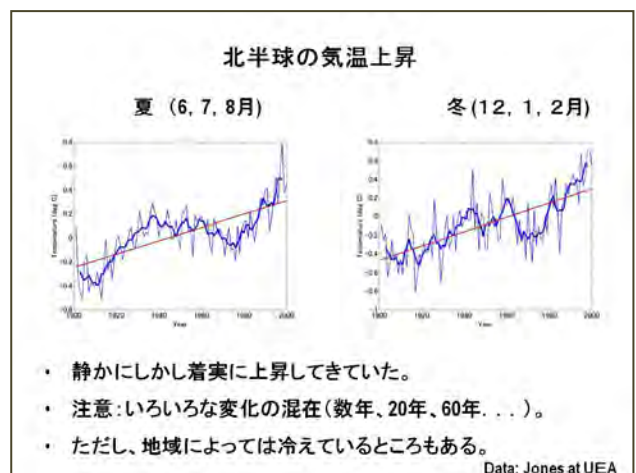
少し戻りましたがけれども、2007年以降、きちんと予測できていないということがここで分かっただけです。2007年、いろんな原因があったのですがここにもまとめて書いてみました。気象学者は大気に原因があった、晴れた日が多かったと説明しようとした。海洋のグループは2つのほうから流れ込んでくる水の話をしました。

氷そのものの原因も出ています(図28-図30)。

北極の氷ですが、普段はこういうふうに流れています(図31)。ここでこういうふうにくてこちらの北大西洋側の出口である、グリーンランドとスピッツベルゲン諸島の間から出ていきます。このように出ていくのですが、この年は押し出されていく排出がととても速かったということが記録されています。大気と海洋と氷そのものの影響が絡み合っていることが分かってきました。海洋のほうはしばらく前から変化が進んでいまして、大気のほうは年によってかなり変化します。1度流れ出してしまった氷が減ってしまいますと、このへんの氷はもともと5年以上かけて厚さをたくわえたものだったのですが、それがほとんど出ていってしまいますと、次にこのへんが凍ったとしてもほとんどが1年未満で薄くなりますので、次の年に簡単になくなってしまおうということが起き始めているということが分かってきました。



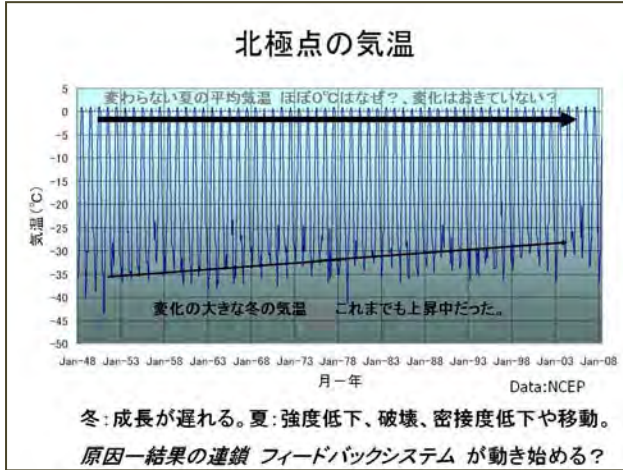
【図 3 1】



【図 3 2】

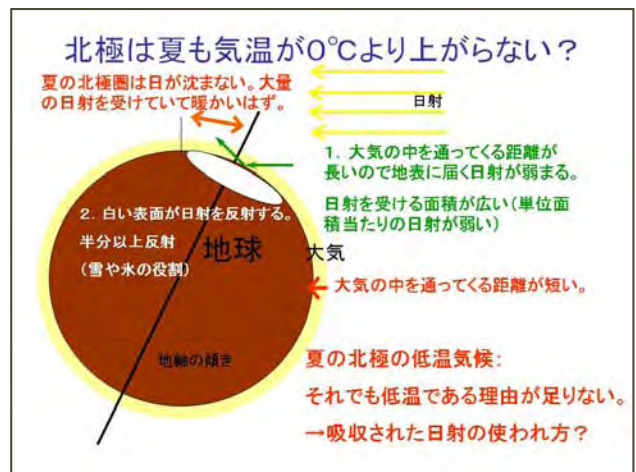


北半球の気温は夏も冬も上がってきています(図3 2)。北半球という目で見ますとこういうことなのですが、北極点ではと見てみますと、こんなふうになります。これは計算や推定も入っているので全部が観測ではないのですが、見方はひとつのサイクルが1年間で、50年分あります。



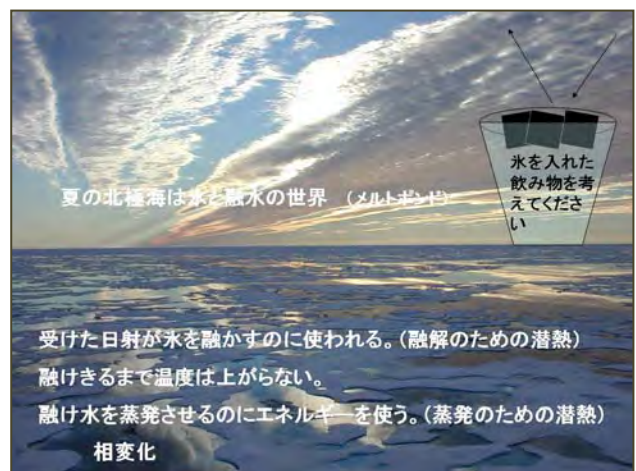
【図3 3】

冬はじわじわと右上がり、夏はぴたっと横ばい、これは計算もされているので実際はもう少しでこぼこがあるはずなのですが、なぜこういうふうに横ばいなのかといいますと、強力なエアコンディショナーである0°Cに保つものが存在するからでして、これは浮いている氷です。変化は起きていないように見えます。温度計で測ると0°Cなのですが、実は氷そのものは変化を蓄積していつかといわれます。最近、そろそろこれが我慢できなくなって、0度を超えて少し上がるようなことが起きてきました。何が起きているかといいますと、理科を習っている子どもにどうして北極が寒いのかという説明に使うのですけれども、北極の上空では1日中陽が沈まないのだからかなりの日射を受けます。こういう時期ですと、1日のトータルの日射量は赤道よりも大きくなるということで、こちらのほうが暖まっていはずなのですが、大気があるので北極は寒いのだというのがよく説明される場所です(図3 4)。赤道が一番近道を通ってきますけれども、高域では斜めに大気を通ってきますので日射が弱まる、それで何パーセントと計算できます。次に、これを受け取る面積が広いということです。斜めから受け取ってきたものが地面にぶつかる部分は楕円形に広がりますから、1平方メートルでは小さくなります。だいたいここまでが北極では寒いという



【図3 4】

ことによく使われます。それでかなり寒いということがほとんど説明できるのですが、実際に計算してみますとまだまだ暖か過ぎます。それで次の要素が、地面が白いからだということになります。東京でも雪が積もった翌日は、朝日が出てきても、出てきた朝日は地面に吸収されずに反射されてしまいますので、なかなか地面が温まらずに寒いです。気温は地面が温まることによって上がりますので、地面が温まってくれませんか気温も上がりません。寒いから雪があるのですが、雪があるのでさらに寒くなる、こういうことをフィードバックと言いますが、反射率と気温のフィードバックがここで起きています。それが夏に氷が解けずがんばっている限りはそういったことが起きています。これでだいぶ、北極が寒いということで、50パーセントは反射してしまうと。それでも実は計算すると足りないということで出てくるのがこういう写真です(図3 5)。

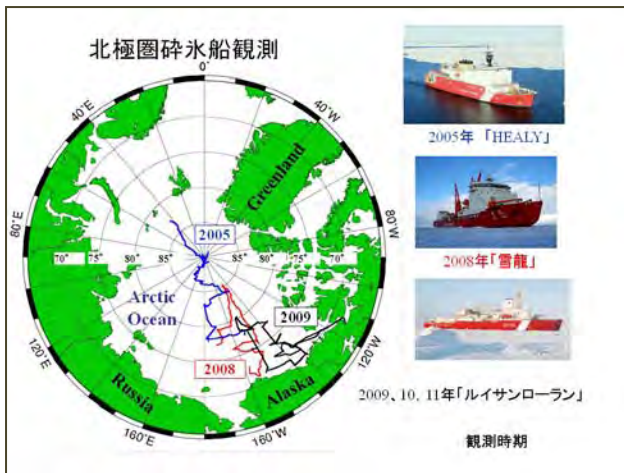


【図3 5】

これは私のグループが北極海に行ったときに撮







【図 4 0】



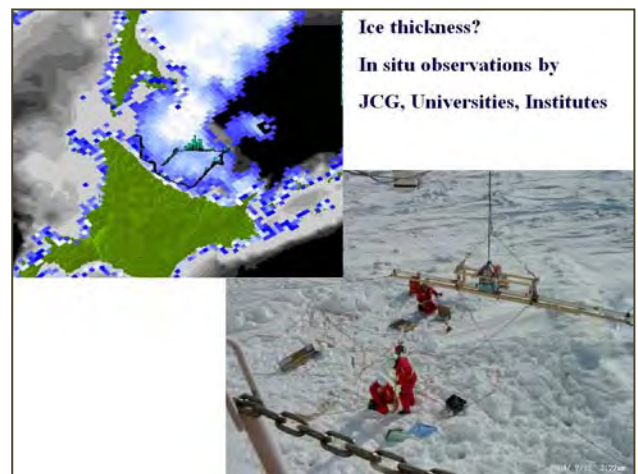
【図 4 1】



【図 4 2】

オホーツク海に行きますと流氷が浮いていますが、上に乗るのはとても危険ですし、本当に目の前で見えているのになかなか厚さが観測できず非常に大変です。浮力で浮いているので、上から見て出っ張っていれば厚そうということになりますが、それは10分の1でして、下のほうが大きな変化がありますので、氷の厚さを測る一番いい方法は下から測る方法です。ここに、潜水艦で自分

の上を測ったり、センサーで上を測ったりと、下から測っている絵があります。ですがこの装置は大変でして、置いたらその1点しか分かりませんし、潜水艦のデータは測ってもなかなか公開してくれません。それで今こういうものが出てきました。宇宙から出たほうが分かるということでセンサーを使って測ります。次にセンサーの写真をお見せしますがこのようなものです。こういうものがあると、何でもかじりたがる白熊がすぐやってきていっしょうけんめい、噛みつこうとします。このあたりに前置いてあった水中に沈めるセンサーなどもロープを噛みちぎられて水中に落ちてしまうので、絶滅危惧種のため絶対撃ってはいけないのでいっしょうけんめい威嚇してどこかに行ってもらおうとするのですが、なかなかうまくいきません。これも全くおいしくないものなのですが、電磁波を出してしまっていてここから下にある海面までの距離を電場の組み合わせで測ることができます。ここに磁場をつくってやって水中に電流を流す部分までいきますと、そこに誘導電場ができて磁場を発生させて信号を返してきます。その強さによってそこまでの距離を推定するという方式で、氷に乗らずに測れるようになりました。数はまだ少ないのですが各国の砕氷船に積み、いろんな航海で測られています。

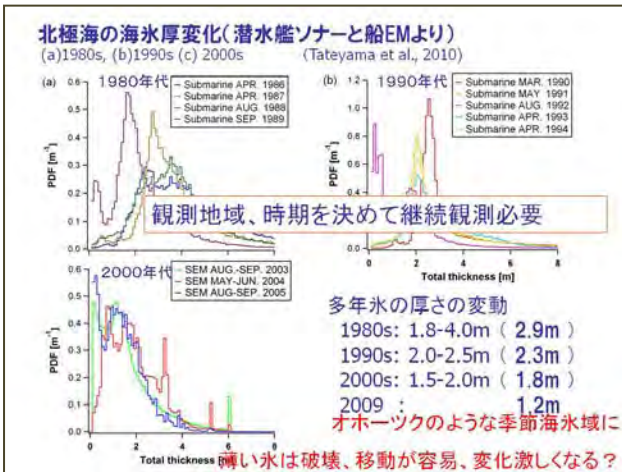


【図 4 3】

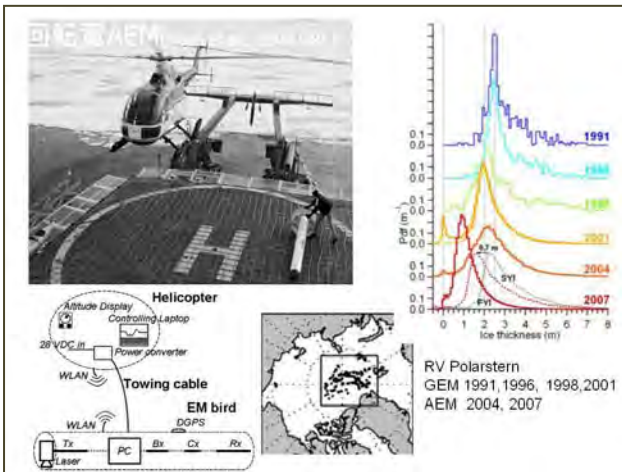
これはオホーツクなのですが、北海道沖の沿岸で測っている風景です(図4.3)。ただの雪の野原のように見えますが、すぐ50~100センチ下は水中なので非常に危険な作業をしています。測られた氷の厚さですけども、1980年代、北極海の場所は限られていますが、平均的には2.9メートルで、厚いところは4メートル以上です。それを10



年ごとに見ますと、2.9、2.3、1.8、1.2 となってきました。



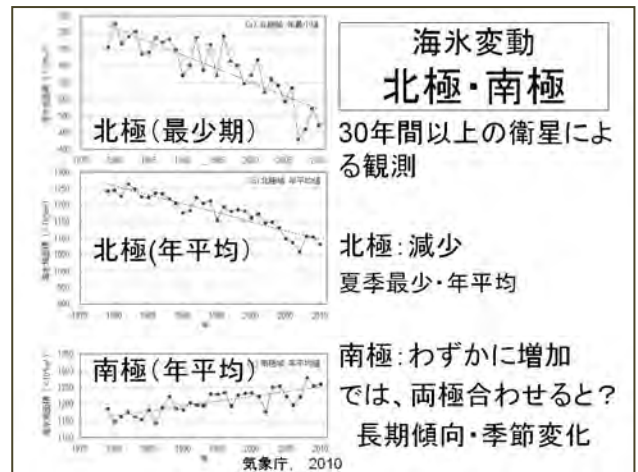
【図 4 4】



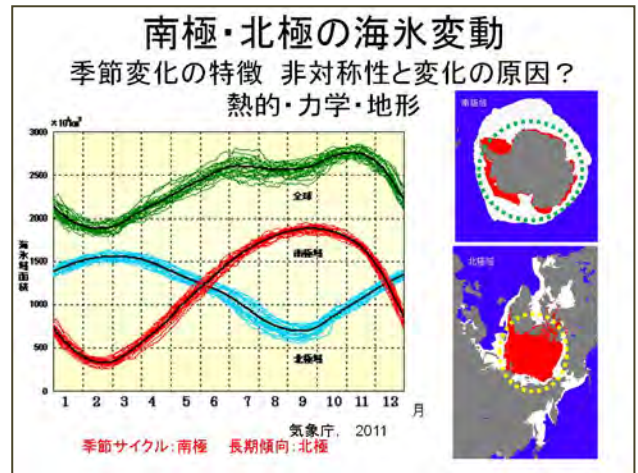
【図 4 5】

ここまでくるとオホーツク海の氷と変わらなくなってきて、冬だけ凍って夏には解けてしまい、風が吹いたらすぐ動き割れやすい「季節氷」に質が変わってしまいました。まだ観測が少ないのですが、ヘリコプターにミサイルのようなものがありますが、これがセンサーで、風の中でも安定した向きを保つためにミサイルのような格好をしています。尾翼がついていますがこれをヘリに積んで飛び回って厚さを測ります。やはり 1991 年から 2007 年にかけてどんどん薄くなっているということが分かってきました (図 4 4-4 5)。

氷の厚さですが、北極は年平均で見ても砕氷船で見てもどんどん下がってきています。南極は増えています (図 4 6)。どうして増えるのかはまだきちんと説明できていないのですが、温度もそれほど上がっておりませんし、南極のほうは風とともによく動きやすいダイナミックな特徴がありま



【図 4 6】



【図 4 7】

して、そういった温度だけではなく風の影響が変わっているということになります。北極ががんばっているので足すとどうなるかと言いますと、地球上の海水は減っていき、両極合わせると傾向は北極の勝ちです。ですが、1年間のサイクルを足しますとこういうふうになります。北極は夏少なくなり、冬になったら増え、南極も同じように冬に増え、夏に減ります。南極のほうは振幅が大きいのですけれども両方足すと上のグラフになります。かたちはどちらに似ているかと言うと南極に似ていて、地球を外から眺めていて海水が1年間でどれだけ増減しているかと言いますと、南極がこのサイクルを引っ張っていると言えます (図 4 7)。季節変化で見えていきますと南極がリズムをとっていますが、何十年というスケールで見ますと、北極が引っ張っているという特徴があります。引っ張っている時間が違うのです。実は北極の研究者は北極だけしか見ておらず、南極の研究者は南極だけしか見ていないこと





すが、今年の夏はどこまで氷が減るかという予想を、毎年コンピュータのシミュレーションであったり、いろいろ衛星を使ったりしてやるのですが、このへんのところで予測することが非常に難しいのです。ここでばらけてくれていけば、この下は減りそうだと分かるのですが、ここで束ねられていて、紐のくじを引くような感じでこの先がどうなっているか分かりません。ここで違いを見つけられたらこの予測ができるのです(図49)。どうやったら違いが見つけれられるでしょう。面積はほとんど一緒になってしまいますが、どうして面積が一緒になってしまうのでしょうか。その後多かたり、少なかたりするのですがここでいったんみんなが揃ってしまうのはなぜでしょう。冬はバラバラですが春の時期にいったん揃ってしまいます。ヒントは北半球ということ。地図もヒントの1つなのですけれども、最初に大陸をはめ込んだらこっちに収まるという話をしました。大陸のサイズと北極海のサイズがほとんど一緒で、そのサイズに実は近いところがこのあたりにありまして、いったんここですぼまる場所があります。こちらは少し面積が違いますが、これは何でしょうか。

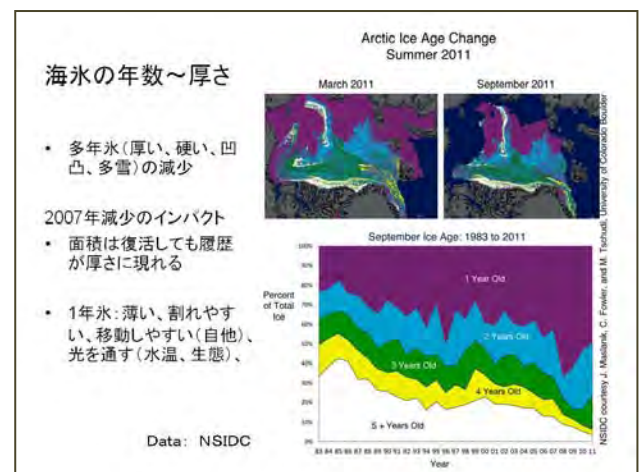
会場：目いっぱいですね。

榎本先生：そうです、目いっぱいです。この器に全部凍りついてから外にはみ出していきます。出るときも器の外の方が消えてから器の内側が消えていきます。ということで、北極海は器なのです。この南極大陸と違って、周りに器があるという構造が氷の動きを固定しておりまして、このあたりで揺れているのはオホーツク海であったり、ベーリング海であったり器の外です。外におまけにいた氷が毎年変わっていました。北極海はそういう意味では冬に目いっぱい凍ってまだ余力があるのです。淵までびっしりいっています。ここから下に氷が少なくなってくるのは厚みが薄くなってきて、岸から外れるというところから始まります。面積の違いはつかずに、器は目いっぱいです。では次の差をつけるのは何でしょうか。…厚さです。しっかり凍って厚くなっているところはなかなか減らないということで、このタイミングで厚さが分かれば、次の夏にどうなるのかが分

かるというわけです。では厚さはどうやって決まるのでしょうか。ここの外側の分はベーリング海やオホーツク海の外のおまけなのであまり気にしなくてもいいです。器の中の厚さがどうなったのか。さかのぼっていきますと、実は前の夏で決まります。ではこの厚さで夏が決まって、夏で厚さが決まるということで、答えと質問がいたりきたりしていて、まじめに答えられていないじゃないかとなりますが、実はそういうサイクルが進んでいます。ここでどこまで氷が減ったかによって、海が開いてしまった部分に分かります。その後がんばって凍った部分はまだまだ薄い氷で、次の夏に少なくなってくるというどんどん進んでいくサイクルと、いつまでもそうであっては困るというブレーキを踏むサイクルの両方ともが動いています。将来予測でうまく再現できなかったのは、そのへんがまだ分かってないところがあるからです。ではコンピュータで夏の厚さと冬の厚さがきちんと再現されていけばいいのですが、それはデータそのものがないのです。

答え合わせをしたいのですけれども答えがないので、式が合っているのかも分からない状況で、先ほどのようなセンサーを浮かべて調べるといことをやっています。

次はこういうことを書いていました。今で答えが出てしまいましたのでここは飛ばします。



【図50】

この夏、どこまで減るかというところで、氷の上に色が塗られていますけれども、表面が解けるとい情報があります(図50)。表面が解けると日射を反射しなくなり、一応0℃を超えることはなくてもどんどんとかしますし、0℃を超えてなくても融解は進んでいるということで、夏の間

けて薄くなったものが氷をもろくしてしまって簡単に割れてしまうようにしてしまいます。それが夏の様子を決めて、次の出発点になりますので、冬の厚さに影響してくるというわけです。

ここを追いつくように上がっていくというのがありました。これは実は器いっぱいになろうとしているところとして、いっぱいあるときの器いっぱいというのと、減ってくるときの器は海峡によって違うので、こちらの東ねたところが違うのですけれども、器いっぱいまでは急速に張ってしまいます。その後厚くなるかは冬の寒さによって変わります。北極海という器の影響が非常に大事です。このグラフは色で分かれていますけれども、年代によって1年の若い氷、古い氷、どれだけしめていたかということで、ここでストンと下がりました。これで2007年に青や緑で書いてあった厚い氷が減り、このレベルがここに落ちてしまいました。この上の紫に塗られている部分はその後凍った1年の氷なので、厚い氷がここで全部1回はがれてしまい、あとは薄い氷がしめています。面積的には回復したように見えていますが、実は厚さでは薄くなっているのです、非常にもろい状態が続いています。

夏になると海氷が減っていきます。これは冬なので陸上の雪も減っていきます。陸上の研究者は陸上の雪が減っていくのを観測し、海氷のグループは海の氷が減っていくのを観測しています。今、衛星画像からつくられたそれぞれの雪と氷の面積を見ましたが、これは最終です。よく見ますと、氷が一番少なくなったときの面積はこのあたりも白くなっています。季節のずれがあるのです。もう1回これを回しますけれども、陸上の雪がだんだん減っていき、陸上の雪が全部消えてしまったあとぐらいに海の氷が減ります。海の氷がだんだん減っていき、もうこれで最後だというぐらいまで小さくなったときには、陸上では冬が始まって雪が積もり始めています。これはまだ氷が減っていますけれども、陸の上では白い部分が出てきました。それで、海の観測をしている人たちは、夏の観測といって8~9月までいますが、陸上の人たちはもう冬が始まったということで、海のサイクルと陸のサイクルの季節サイクルにずれがあります。ここではまだ海の温かさを持っていますが、陸のほうはもう冷え切っています。海のほうが熱

容量があり、粘ります。

会場：9月というのはいつごろですか。

榎本先生：9月16日です。アラスカ、北部のほうでは、もう冬のシーズンです。それで、実は北極のプロジェクトをつなぎましょうと。陸の上では9月になったらもう冬です、海の上では8月いっぱいはまだまだ氷は減っているのです。ただし、脇は減っていますけれども、表面はそろそろ凍り始めてきます。脇が減っているだけで判断せずに、表面が凍っているかどうかも見てくださいというのが新しいアプローチになっています。

ここからは写真をお見せします。海が凍っているときに陸上でどうなっているかを調べているアラスカでの観測風景です(図51、52)。



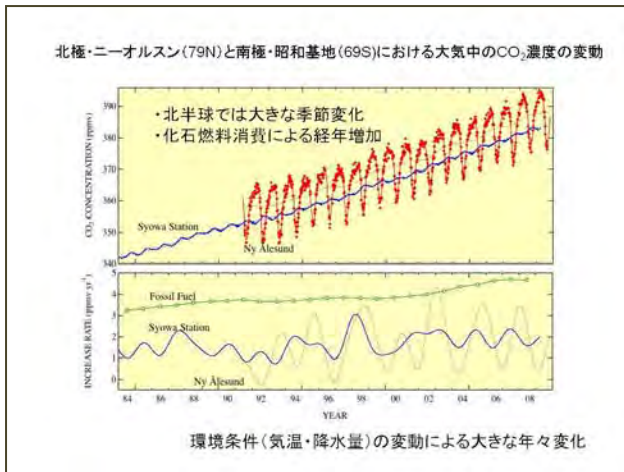
【図51】



【図52】

北極では陸上があるのでステーションもたくさんあり、CO<sub>2</sub>やメタンのネットワークもあります。図を入れましたが、上のほうだけご紹介します(図53)。





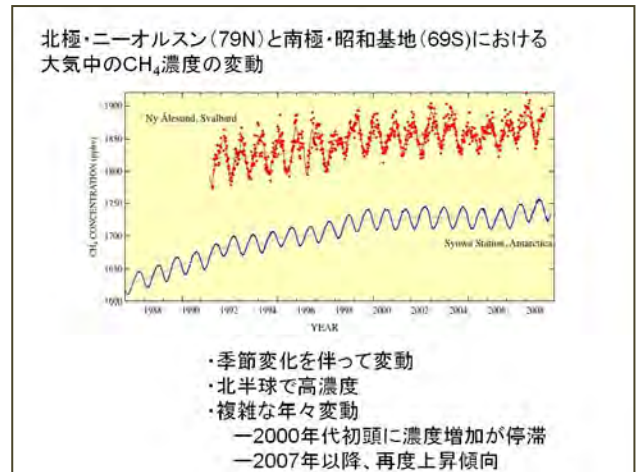
【図5 3】

北極圏のグリーンランドのすぐそばにあるスバルバル島というところ、北大西洋の一番北で測られているのですが、青いものが昭和基地で南極のCO<sub>2</sub>の変化です。揺れながらどんどん増えていきます。赤いものが北極圏で調べられているもので、この中に書かれている滑らかな線が増加率ですが、揺れが全然違います。ご存じの方もいらっしゃると思いますが、これはどうしてでしょうか。CO<sub>2</sub>の増加を南極で測るとこの青いライン、北極で測るとこの赤いラインです。

会場：森があるからではないでしょうか。

榎本先生：そうです。この揺れは森林による吸収や保湿度があるので、そういう発生源が北半球にはたくさんあります。南極大陸は特にそうですけれども、南半球はそういう発生源から非常に遠いところにあつて、自分ではつくらずにそれをモニターしているだけです。ですが、これはその発生源のすぐそばにある北極圏なので、北半球の揺れサイクルがCO<sub>2</sub>については、1年のサイクルを引っ張っていつているということです。先ほど南極と北極の海氷の動きでも、長期トレンドと1年サイクルがありましたけれども、CO<sub>2</sub>でも1年サイクルは北極が引っ張っているということがあります。

これはメタンガスなのですが、こういう中だるみというものがあります(図5 4)。やっている人にこれを聞いたのですが、増える、増えると言われていたのにどうして増えなくなったのかははっきり説明が聞けなかったのですけれども、メタンの観測も南極・北極で行われています。



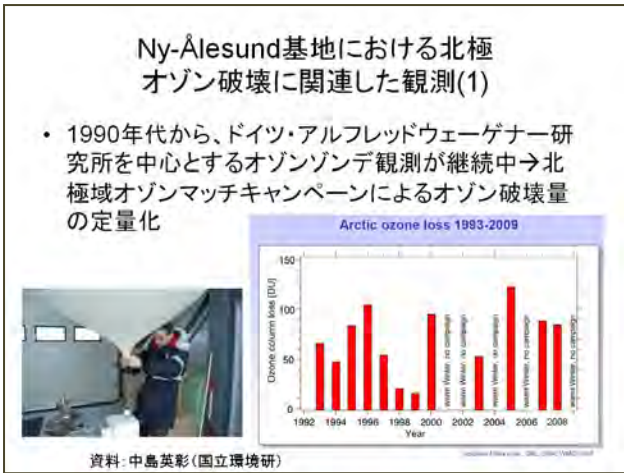
【図5 4】

さて、これは去年の4月の現象です。4月に観測されて、北極にもオゾンホールがあるという新聞記事が10月に出了ました。いろんな観測をしているという図ですけれども、こんなふうに南極の周りのオゾンの減少域、北極の周りのオゾンの減少域という図が発表されました(図5 5-5 7)。

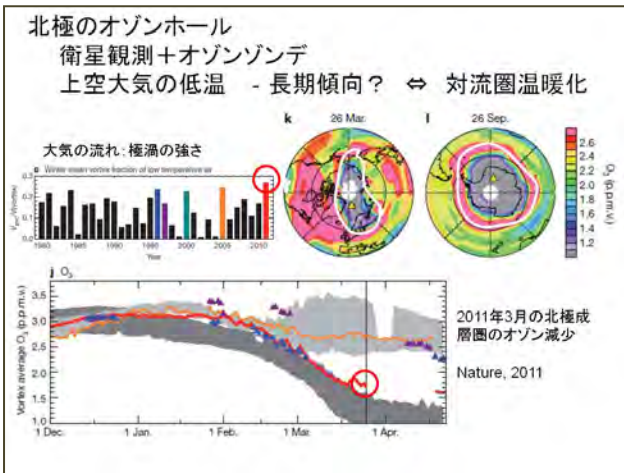


【図5 5】

今まで南極のオゾンホールは言われていたのですが、北極で初めてオゾンホールが発見されたことが問題になりました。そのオゾンホールが北極海の誰もいない上空だろうという話ではなく、オゾンの少ない地域がこのいびつな北極圏の大気に沿って、低緯度までやってくる、ヨーロッパやアジアの上空までオゾンホールが延びてくるかもしれない、そうすると紫外線が地上にたくさんきて危ないということが起きるといふことで、南極とは違う新しい問題が出てきました。南極のほうはまだフロン放出はありましたがまだ勢いがついていまして少しずつオゾンが出てきているという時代であるのに、北極でこれから始まるのはなぜかと



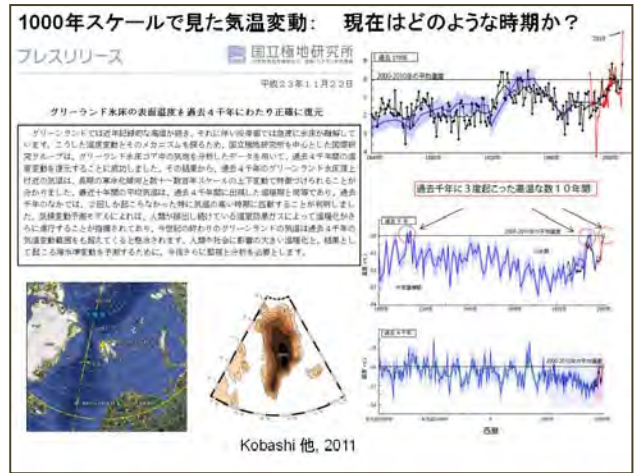
【図 5 6】



【図 5 7】

ということがあります。これは、地上は温暖化されていますが、地上が温まっている分、どこかで熱をもらわなくなっているところがあります。それが上空だということになっています。このオゾンホールをつくる大気の流れ、物質のふるまいというところで、上空での低温ということが非常に関わっています。地上の温暖化の裏返しが生空の低温化で、低温の中で起きる科学反応、またその低温の中で起きている大気の流れのパターンが北極圏でオゾンホールをつくってしまったということで、温暖化地上と裏返しということになっています。これから温暖化が続けば、こういうパターンが続くかもしれません。地上が温かい分、上空では冷たくなるということが危惧されています。

これは去年の3月の観測で出てきたものなのですが、普段はこういう分布になってますけれども、それが今後どうなるのか、今多分いっしょうけんめい北極圏で観測されています。去年と同じになるのか、変わるものが出るのか、レポートを待つ状態です。



【図 5 8】

そしてこれはグリーンランドで調べられたデータからですけれども、やはり今は特殊だというレポートです。この小橋さんという方が、過去数千年というところを氷のコアからさかのぼって調べたのですが、これは温度のグラフです(図58)。過去1,000年と書かれますけれども、こういった時間スケールで暖かい時期、寒い時期、暖かい時期がありました。過去1,000年間に3回高温だった時期がありまして、今はそのうちの1つに入っているということが、この資料から分かってきました。今まで経験したことがない変化が起きているとされています。

最後に北極観測のことですが、これはパンフレットがありますのでこれをご覧ください。北極の氷の温暖化とさまざまな地上の変化が新しいパンフレットの中で、紹介されています(図59)。

### 新しく始まった北極研究

- 2011年度より文部科学省のグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス(GRENE)事業「北極気候変動分野「急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明」が開始した。
- 日本の大学や研究所の様々な分野の研究者をつなぎ北極の温暖化や気候変動のメカニズムを調べ、海洋や陸域の生態系や北極航路への影響と将来予測を行うことを目的としている。
- GRENE北極プロジェクトに大学・研究機関の協同で推進される。
- 今後の研究推進のため北極環境研究コンソーシアムの開始。

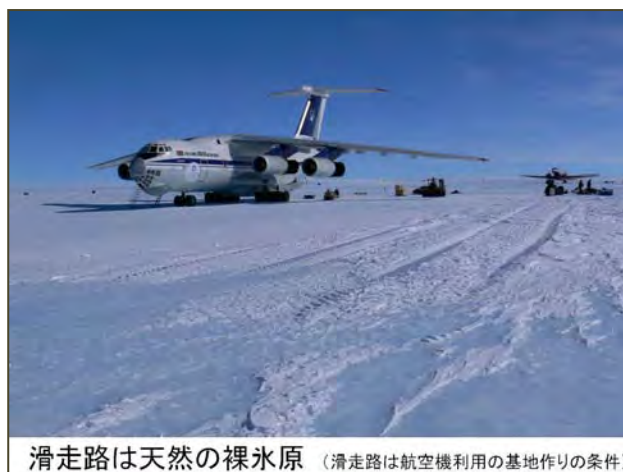
【図 5 9】



時間をたくさん使い過ぎたので、先ほど、「しらせ」が帰ってきたという話をしたのですが、そのあたりの別の行き方の話を手短かにいたします（図60-77）。こういう飛行機で南アフリカのケープタウンから南極大陸へ一気に飛ぶことができます。



【図60】



【図62】

着陸空港がここで、雪原です。荷物もベルトコンベヤーでは出てこないで、自分で下ろさなければなりません。こんなふうの中に積み込まれています。



【図61】

ロシア船のジェット輸送機イリュージンを使って6時間のフライトです。特別な観測のときにこういう飛行機を使います。ケープタウンの空港に行きますと、次の行き先が出てきまして、次はチャーターフライト、行き先はノボ。ノボラザレフスカヤ基地、南極と出てきて、何番カウンターに行けばいいのかが出ます。フライトチケットがありまして、私の席は7番のFです。普通の旅行者と一緒にガラガラ引っ張って、ただし大きな長靴を履いているのですが、X線のチェックを受けて入っていきます。乗るのはこの飛行機です。比較的暖かい南アフリカから入って、着陸したらいきなりこれなので、みんな飛行機の中で着替えます。



【図63】



【図64】

これは機内です。一応座席はありますが、後ろのほうに手荷物置き場がこのようになっていまして、もうじき着陸するので着替えたいのですが、自分

の荷物がどこにあるか分かりません。工事現場にあるようなトイレがチェーンブロックでつけられています。輸送機なので窓がありません。どこなのかが分からないのでプロジェクタで前に映してくれます。着陸するとこの飛行機に乗り換えます。



【図 6 5】



【図 6 6】

この飛行機が何という飛行機か分かる方いらっしゃいますか。プロペラです。

会場：YSですか？

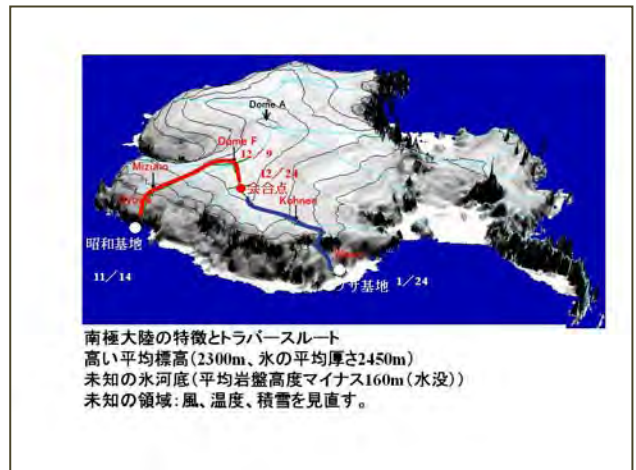
榎本先生：もう少し古いです。戦前から飛んでいました。これはDC3です。DC3が南極で現役で飛んでいまして、非常に優秀な飛行機で極域でも安定した飛行ができます。エンジンは改造されていますけれども、カナダから飛んできて夏の間は南極に飛んでいます。この間、羽田空港に行きましたら、ミニチュア置き場で売られていました。見ましたら、ゼロ式輸送機と名前が書いてありまして、日本が終戦のときに武装解除しなさい、戦

争が終わったというときに真っ白に塗って日本を飛び回ったということです。

これも南極の基地です。ここにトロール基地というノルウェーの基地があるのですが、ここに日本のトヨタ車が走っています。普通のタイヤです。「しらせ」で行く昭和基地とは違う南極の姿があります。岩山もあり、私たちはこういうところを2,800キロほど走りました。これは日本のグループメンバーです。こうやって走っていきます。時速4キロなので歩いて行って先に行って待っているという人もいます。表面がこうなのでスピードが出せません。ナイフでも刺さらないぐらい、表面が固い雪面です。



【図 6 7】



【図 6 8】

どんどん走っていきますと、みずほ基地があります。基地があるといってもこの下に埋もれていて見えずにタワーだけ残っています。タワーから見たみずほ基地で、この下に蟻の巣のようにネットワークで基地があります。いろんなところで科学観測されていまして、朝起きて外を見上げると



白い点が見えました。望遠レンズでよく見てみると、高層ゾンデで 1,000 キロ以上離れたところから飛んできた気球がたまたま自分の頭の上を浮いていました。これは他に何もないので気がついたのです。これはドームふじ基地で、これも雪に埋もれています。



【図 69】



【図 70】



【図 71】

ここでボーリング活動が行われました。基地の中

はマイナス 50 度に冷えていてこんなふうになっています。ここでスウェーデンのグループと会いまして、スウェーデン基地に向かいました。これがスウェーデンの雪上車で、日本とは少しデザインが違います。雪上車の中はこうです。



【図 72】



【図 73】

カーテンを閉めて外の景色を見ずにひたすらモニターを見ている。何をみているかといいますが、この下に湖があるのではないかと見ている。ピークがピッと出ていますが、下からのエコーが返ってきていますがどうしてここだけ強いエコーが返ってくるのかと探しながらいきます。スウェーデン隊のメンバーがいるのですが、ヘディンの「さまよえる湖」というお話がありますけれども、それを探しているみたいだとスウェーデンの人たちと話していました。このようにモニターばかり見ながら走っています。これはドイツの基地で、簡単なかたちをしています。ドイツのボーリングの掘削をする基地で、潜っていったところにあります。これもドイツのボーリングをするサイト

の中です。1,000 キロ以上離れているところの基地で人が滅多にこないなので、みんな喜んでいます。



【図74】



【図75】

最後にこういうところから下ってスウェーデンの基地に向かいました。こういうところをどんどん走っていきます。これがスウェーデンの基地です。いろいろ省エネの設備がされていて、ここにソーラーパネルがあって、あとはあまりエネルギーを使わずに暖気をとろうということで、太陽の当たる壁の面は薄いプラスチックの板になっていて薄い温室になっています。昼間日射が入ってくるとその間に暖かい空気が入ってそれが勝手に家の中に入ってくるということで、あまりエネルギーを使わずに暖房をとることをしていました。すぐ隣にはフィンランドの基地もあります。南極のほうが珍しいと思いますので、一番最後にお見せします。ここは本が好きな方がたくさんいらっしゃるのですが、南極に行ってもじっと日なたぼっこしながら本を読んでいます。向こうにDC3も見えていますが、ここに旅行カバンを置いて、待合室で南極から南アフリカに帰る飛行機を待つ

ている風景です。ドイツの科学グループのリーダーなのですが、観測が終わってこれから国に帰ろうというときです。



【図76】



【図77】

時間がオーバーしてしまいましたが、以上です。質問を受ける時間をとれていないので、何でもご質問ください。

司会：どうもありがとうございました。それでは質問をお受けしたいと思います。マイクをお渡しますので挙手していただきたいと思います。

榎本先生：半折りのパンフレットがあります。北極のプロジェクトが今年から始まったということだったのですが、最初にお話ししましたように、ある人はシベリアが北極だと思っていて、ある人は北極海が北極だと思っているということでバラバラの科学をやってきましたので、それをつなぎましょうというコンソーシアムというものができました。ちょうど1年たったのですが、そういう



ものをお配りしました。

会場：今日は貴重なお話をありがとうございます。そういう極地に行くことが全くあり得ない一般市民としてお伺いしたいのですが、いろんな情報があるのですが現地に行かないと分からない感覚ということがありまして、今日は科学者として冷静にいろんなお話をいただきました。温暖化に対する危機という意味で、言い方が悪いのですが、本当にこれはやばいのかどうかという感覚的な判断なお聞かせいただきたいということと、あとは、温暖化ということで大気からの影響があるかと思うのですが、地殻から地球が温まっているという話を聞いたこともありまして、地殻から温暖化しているという話が実際にあるのかどうかという2点をおうかがいしたいと思っています。

榎本先生：大事なポイントでありまして、それに関連して今日説明していなかった資料を見ながらご説明いたします。北極が将来暖かくなっていくという予想がされている中で、動いているシステムとしてここに「永久凍土」というものを書きました。色が塗られているところは永久凍土自体、夏でも0℃を越えない地面があるところなんです。そういったところは実は、分解されていない物質がたくさんありまして、温暖化するとそこでバクテリアなどが分解してメタンやCO<sub>2</sub>を出してくると言われています。ということで、冷凍保存された爆薬庫みたいなものなのです。温暖化すると、ここからそういったガスが出てきてさらにそれを加速するというサイクルが始まってしまうということが危惧されています。地面から出てくる熱ではないのですが、物質が温暖化を進めてしまう可能性があるということで大変危惧されているところです。こういう図を入れておきましたけれども、英語で書かれているので見にくい部分もあるのですが、陸上のサイクル、マリンカップリング・海のサイクル、大気のサイクルといういろんなところで、何か起きた現象が次の現象に連鎖していくものがあります。あとはフィードバックというものもあるのですが、そういったサイクルの中に地面のプロセスが入っておりまして、地面を見なければ大気も分からないということは大切なポイントです。これまでそういう研究は行われていなか

ったので、最近、科学者同士のことばをつなごうということが始まりました。

実感として変わるかどうかですが、それはこのトレンドというゆっくりした右上がりのもと、毎年の揺れという振幅というものがあります。振幅がけっこう大きいので、今年は寒いのではないかと、今年は暑いのではないかと、それに目を奪われてしまうことがありますので、それから1歩下がって、1年1年ではなくもう少し長い様子で見ようとしています。例えば今年は東京は寒いので、温暖化ではなく寒冷化が進んでいるのではないかとというふうにもとれるのですが、これは実は暖かくなった北極のせいであるという説明づけが最近されています。北極で氷が減った分、冬の間の水の分布が変わってしましまして、大気の流れの場に変形が起きてしまいます。その変形で起きた波のかたちによって、このあたりが寒くなっているというレポートが最近出まして、これも北極の温暖化のせい、たまたまこのあたりが寒くなっているということも出ています。

会場：オゾンホール形成とそれから氷の解けることとの関連性というものはあるのですか。

榎本先生：このサイクルの中に両方ともきつと入っています。北極圏のオゾンホール形成は、熱が地上に留まって、上空が冷やされたということが今は理由になっています。氷からオゾンそのものが出てくるわけではないのですが、温暖化を間に挟んで、上空のオゾンホール発生というものがきています。地上の温度そのものはどうして変わるのかと言いますと、そこに氷が役割を果たしておりまして、氷や雪が持っていた反射率が解けることによってさらに反射率が落ちてしまう、さらに地面が温まってしまうというサイクルの中で、雪と氷が働いていまして、そういったサイクルと上空の寒冷、地上の温暖がカップリングしているということです。全部は説明できません。では雲はどういう役割をしているのでしょうか。低緯度と高緯度で役割が変わります。日傘として効果を出すこともあれば、地上の熱を逃がさずに温度を閉じ込めてしまう役割もするというプロセスも入っておりまして、つながっているはずなのですが、全部きれいに説明できるわけではありませ

ん。ただ、北極のオゾンホールは地上の温暖化の裏返しで、その温暖化の影には氷の存在があるのです。

会場：南極と北極のオゾン形成と森林の関わりについて。南極には周りの地域に森林が無いですが、北極には森林地帯もありうるという事でかなり違うんでしょうか。

榎本先生：今資料を持っていないのですけれども、別のグループが北半球のオゾンの観測もしているのですが、違うはずですがはっきり答えられません。オゾンホールができる原因としては極に閉じ込められた寒気が大事ということで、それは南極・北極共通です。これまで南極でしか起こらないと言われていた上空の低温が北極でも起きてしまうということは共通点です。

会場：非常に興味深いお話でした。北極で解けた氷の水が海の中を伝わって 1,000 年かけてヨーロッパで立ち上がる、こういうことが地球全体の熱管理を左右するのだという話もあるわけですし、地球の 4 分の 3 を占めている海の比熱というものは膨大なものです。ですから極地の 1 箇所から解けた氷の水が 1,000 年かけて流れていくという現象と、今お話があった極地での非常に短いサイクルでの変化との兼ね合いはどのように考えたらよろしいのでしょうか。

榎本先生：ここにグリーンランドがありますが、グリーンランドの表面が解けていてその解ける水以外に崩れて流れ出す部分が多くあるという話をしました。体積とその他の氷河もどんどん小さくなってきていまして、それが海に流れ込み、海水準の C レベルを高くするという効果が 1 つあります。もう 1 つ、流れ出した淡水が海の循環を変えてしまう、グリーンランドですとここに「沈み込み」というものがあるのですが、そのあたりの海の構造を変えてしまうのではないかという危惧がされています。そうしますと、熱そのものではなく、熱を運ぶ流れのほうに変調してしまって大きな気候変動につながるということが言われていますが、まだそれを示すことはできておりません。実はそのあたりのこともきちんと予測できません

と、コンピュータシミュレーションでは温暖化の影響もできないのですけれども、多分コンピュータシミュレーションのグループは過去に起きたことを、練習問題として自分たちのモデルがそれを再現できるかやっている最中だと思います。

陸上から海に流れ出した水が、熱的ではなく流れに対して影響を及ぼしてしまうことは目視されていて、今回の北極のプロジェクトの中でも海水準の変化だけではなく、海のシステムにどういふ影響が出てくるかが狙っているターゲットの 1 つであり、大事なポイントです。

会場：スウェーデンの基地に着いた雪上車はどうやって回送したのですか。

榎本先生：よく気がつかれましたね。2007 年 12 月 24 日のクリスマスイブに海岸線から 1,000 キロ離れたところで会いましょうというお話でスタートいたしました。日本は日本の基地からスタートして、向こうはスウェーデンの基地から来ます。合流した後、メンバーを入れ替え、車は同じ基地に戻っていくというふうになりました。ただし、日本の雪上車は時速 4 キロしか出ないのですけれども、とても頑丈でしっかり走ってきました。向こうの雪上車は時速 10~15 キロ出る VOLVO 車製なのですが、今回の大遠征のためにトランスミッションなどをパワーアップの改造してきたところ、パワーにギアがついていけなくなって故障が始まりました。ギアボックスを交換したり、ディファレンシャルを分解したり大きい修理をしながら 3 日間寝ずに走ってきました。結局 12 月 27 日に彼らは着きました。

会場：乗り換えたということはこの先自分の車ではないので、観測していないということですよ。

榎本先生：研究者はセンサーと一緒にいきます。24 日に私たちが早く着いて、そこで Automatic Weather Station という気象観測機を建てました。スイッチを入れたのですがきちんと動いているかどうかはアメリカのウィスコンシンに聞かないと分からないのです。24 日の午後でクリスマスイブなので、みんな家に帰ってくつろいでいる時間にどうしようかということになり、見に行ってくれ



とは言えませんので、「クリスマスツリーをつくった、南極からクリスマスツリーのメッセージがあなたのところに届きましたか」とメールをしました。そうしたら数時間後に、「Merry Christmas. 届きましたよ」という返事がきました。

会場：プラグの形状が違うのにどうしているのですか。アダプターを持って行って？コンセントのプラグのかたちが違うでしょう？

榎本先生：私たち普段、世界のどこでもつながるようなプラグを持っていますし、日本の雪上車は新潟県にある会社がつくっているのですが、風呂には入らなくていい、着替えもしなくていい、とにかくがんばって観測しろと、あまり人間のことは考えていません。スウェーデンのほうは違っていて、毎日シャワーを浴びないと仕事はできないと言いますし、週に1回はディナータイムがありますし、ワイングラスはガラスで、日本のようにアルミで飲んだりしません。このように、プラグは心配なかったのですが、生活スタイルは共通ではない部分がたくさんありまして、なかなかアジャストできないところがありました。

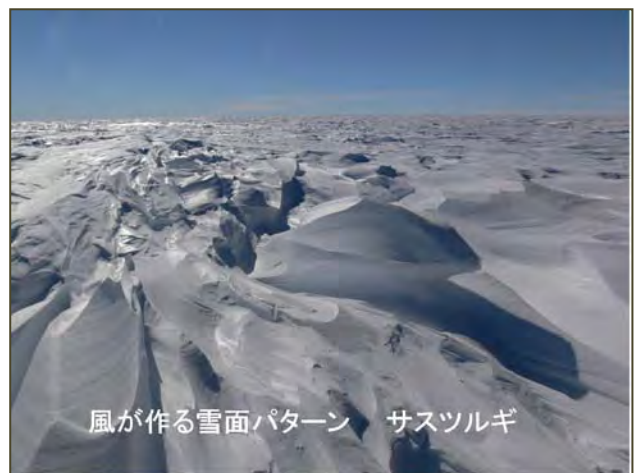
会場：雪上車にシャワールームがついているのですか。

榎本先生：ついていますが、とても簡単なものです。農薬を散布する圧力かける噴霧器にお湯を入れます。それを頭の上に持って行ってひねればお湯が出てきます。大事なのはシャワールームです。防水加工をした小さな小部屋を雪上車の中につけていまして、そういうのをデザインしたのはIKEAという家具屋です。日本の雪上車に入ると、どういうわけかオイルの匂いがして機械室で寝泊りしているようなものですが、スウェーデンの雪上車に入ると木の匂いがします。スタイルが違います。

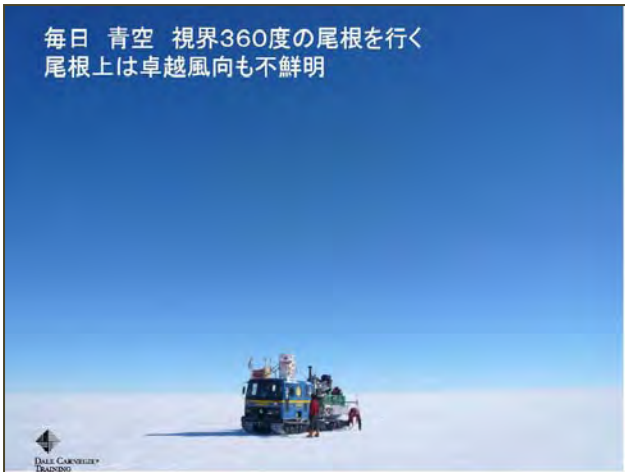
司会：それでは時間になりました。どうもありがとうございました。

以上

#### ◆その他の南極観測隊写真



毎日 青空 視界360度の尾根を行く  
尾根上は卓越風向も不鮮明



アラスカブルックス山脈



スウェーデンのキャンプ 四角い陣形をとる  
車両が囲まれた空間:城塞都市の中庭のよう



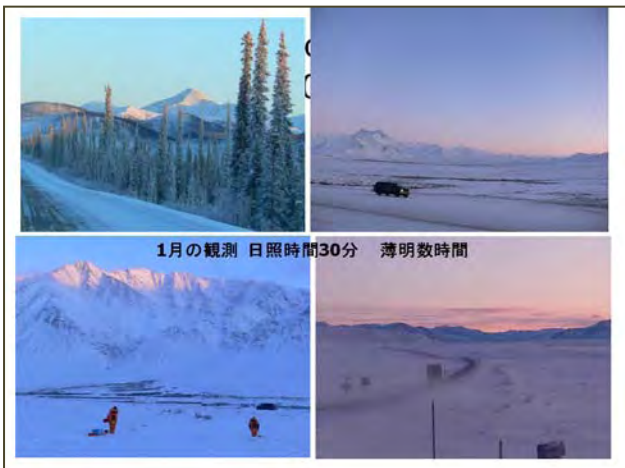
ロシア ノボラザレフスカヤ基地の飛行機を待つ  
ドイツ隊 Hans Oertel



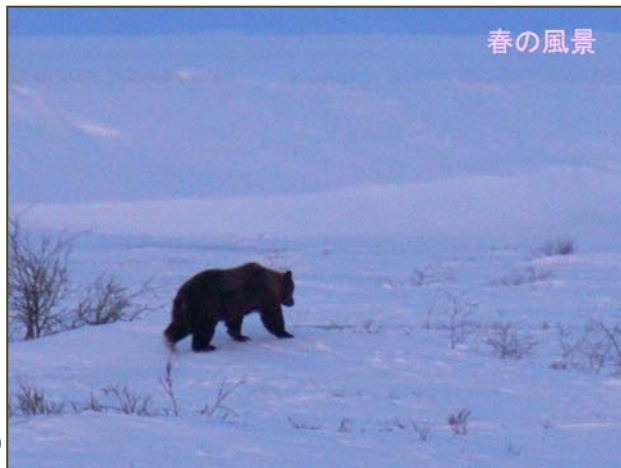
冬のアラスカ マイナス40度以下でも



春の風景



1月の観測 日照時間30分 薄明数時間



春の風景