



平成20年度（第17回）ブループラネット賞
受賞者記念講演会

財団法人 旭硝子財団

THE ASAHI GLASS FOUNDATION

目次

受賞者紹介

クロード・ロリウス 博士	1
--------------------	---

記念講演

「気候と環境—半世紀にわたる南極大陸での探検と調査—」	3
-----------------------------------	---

受賞者紹介

ジョゼ・ゴールデンベルク 教授	13
-----------------------	----

記念講演

「持続可能なエネルギーの未来」	15
-----------------------	----

ブループラネット賞	27
-----------------	----

旭硝子財団の概要	30
----------------	----

役員・評議員	31
--------------	----

別冊

クロード・ロリウス 博士 講演スライド集

「気候と環境—半世紀にわたる南極大陸での探検と調査—」

ジョゼ・ゴールデンベルク 教授 講演スライド集

「持続可能なエネルギーの未来」

受賞者紹介

クロード・ロリウス 博士（フランス）

Dr. Claude Lorius (French Republic)

フランス国立科学研究センター名誉主任研究員

フランス科学アカデミー会員



●受賞業績

『極地氷床コア分析に基づく気候変動の解明、特に、氷期、間氷期間の気候変動と大気中の二酸化炭素との相関関係を見出し、現在の二酸化炭素の濃度が過去にない高いレベルにあることを指摘し、地球温暖化に警鐘を鳴らした業績』

●略歴

1932	フランス ブザンソン生まれ
1955	フランス国立科学研究センター南極委員会研究員
1957-1958	国際地球観測年の南極探検隊参加
1961	フランス国立科学研究センター研究員
1962	ソルボンヌ大学博士号取得
1979-1983	氷河学・環境地球物理学研究所 (LGGE) 副所長
1983-1988	LGGE 所長
1984-1986	フランス極地探検 会長
1986-1990	国際学術連合会議 (ICSU) 南極研究科学委員会 (SCAR) 会長
1992-1998	フランス極地研究・技術研究所 所長
1993-1995	EPICA プロジェクト 会長
1987-1994	フランス科学アカデミー客員
1994-	フランス科学アカデミー会員
1998-	フランス国立科学研究センター 名誉主任研究員 (Director Emeritus of Research, CNRS)

●主な受賞歴等

1989	Humboldt Prize
1989	Belgica Medal
1994	Italgas Prize
1996	Tyler Prize for Environmental Achievement
1997	Seligman Crystal (国際雪氷学会)
2001	Balzan Prize for climatology
2002	The CNRS Medaille d'Or
2004	Petit Larousse illustré
2006	EGU Vladimir Ivanovich Vernadsky Medal
2008	SCAR medal

ロリウス博士は1932年にフランス ブザンソンで生れ、1953年に物理学で学士号を取得しました。1955年にブザンソン大学の掲示板に張り出されていた「国際地球観測年科学探査旅行計画に参加する若い研究者募集」の案内を見て応募したことがきっかけで、後々素晴らしい業績を挙げることになる氷河、気候変動分野の研究に入り込みました。

1957年、当時まだ萌芽期にあった氷河研究の若い担い手として、南極大陸の高さ2,400メートルの大陸氷床上の小さなベースキャンプ、シャルコー基地で同僚二人と越冬しました。1959年に再び南極を訪れ、米国のビクトリア地方横断探検隊に加わり観測する中で、氷の中の酸素と水素の同位体を測定して氷ができた当時の大気の温度の指標として利用することを考えつき、これにより、氷の流れを把握することが可能となり、過去の気候変動と年代を知ることが出来るようになりました。

その後、1965年に南極のアデリー地方の沿岸基地で越冬隊を指揮していた折に、ウィスキーに入れた氷にトラ

ップされた泡がウイスキーの中で破裂するのを見て、氷床コア中にトラップされた大気の実験を思いつき、それにより氷が出来た高度が分かり氷床の厚さが分かるとの考えに到達しました。その他にも、博士は1968年以降、過去の気候変動を解析する指標として現場で測定できる結晶サイズを使うことなどオリジナルなアイデアを提案し、氷床の解析から得た情報は、気候のみならず大気環境をも明らかにするものとなりました。

1974年から数年に亘り、博士は南極中央部の高い台地にあるドームCで困難な作業を開始し、1978年に900mまでの掘削に成功しました。氷床コアを分析した結果、その氷の底はおおよそ3万5千年前のもので、最後の氷河期の終わりが約2万年前であったこと、氷河期に続く雪解けと温暖期が既に1万年も続いていることを立証しました。

さらなる解析を進めるには、優れた氷床コアのサンプルが必要でしたが、幸運なことに、地球上の最果ての、最も寒い場所にあるソビエトのポストーク基地に、南極氷床を2,200mの深さまで掘削した一連のサンプルが存在していました。博士らは、ソビエトの研究所と米国国立科学財団の支援を受け、冷戦真最中の1984年末に、ポストーク基地に足を踏み入れました。氷床コアは期待以上のもので、第四紀の中の最後の気候変動サイクル全てを含む、15万年以上に亘る、氷の流動による乱れが全くないものを初めて入手できたのです。フランスに戻り、博士は多数の専門家の力を結集して詳細に調べた結果、長い氷河期が、現在の間氷期と12万年前の間氷期の間であったことが明らかになりました。氷期・間氷期間の温度変化と大気中のメタンおよび二酸化炭素の濃度との間の密接な関連は大きな話題となり、研究成果は1987年のNature誌の表紙を飾り、論説や一連の記事で全面的に取り上げられました。

1989年に博士はフランスの極地調査を再編するよう要請され、フランス極地研究・技術研究所を設立し、1992年にこのIFRTPの初代所長になりました。博士は、自身の研究活動を継続するかたわら、南極の氷床における深層掘削調査プログラムの国際協力にも力を入れました。

1998年にはロシア-フランス-米国の共同チームによるポストーク基地での氷床掘削は3,623mの深さにまで達し、過去42万年に亘る連続した氷床コア記録を取得することに成功しました。博士らは、42万年間に4回の長い寒冷期とより短い温暖期、すなわち氷期と間氷期があることを識別し、その間に大気中の二酸化炭素濃度は最小約200ppm、最大300ppmの幅で変動し、二酸化炭素濃度は最後の退氷期の間に40%増加し、その間メタンは2倍に増えていることを明らかにしました。現在の大気中の二酸化炭素濃度は390ppmに達し、さらに増え続けています。博士は、氷河の、過去の記録の研究から得られた結論は、地球が21世紀を通じて大幅に温暖化し、水供給、農業、健康、生物多様性、そして人類の生存条件全般に恐ろしい結果をもたらす可能性があるという主張に信憑性を与えていると述べています。

博士は合計で22回、主に南極、そしてグリーンランドへの極地氷床探査のため訪れ、その合計日数は6年間の滞在に匹敵します。南極での作業活動、氷床コア分析・解析は多くの人の協力・関与が必要で、様々な業績も彼の率いるグループの仕事と言えますが、博士の卓抜した研究者としての視点、粘り強さ、さらには、国際的なチームを組織する力無しには本研究はかかる成果を早い段階で挙げることは出来なかったでしょう。

ロリウス博士は、氷床コアの研究から、私達が「人類紀」という、最大かつ緊急な国際的課題である地球環境を人類が支配する、新しい時代に入ったと考えています。オゾン層の問題では、警告に耳が傾けられ改善が見られましたが、気候の問題についてはまだです。新しい技術が開発され、人々の姿勢・考え方がさらに変わるよう見守らねばならないと博士は述べています。

気候と環境

—半世紀にわたる南極大陸での探検と調査—

クロード・ロリウス 博士

スライド 1 半世紀にわたる南極大陸での探検と研究

50年ほど前、私は氷に覆われた極地での人としての体験に魅了されてしまいました。氷の神秘性を調べる過程で初めての発見をしたことにより、私の極地研究への情熱は掻き立てられました。氷床掘削技術のおかげで、私達は古い時代の気候や環境を解明するため、過去に遡ることが可能となりました。南極氷床の研究こそが、現代社会における最も偉大なチャレンジの一つであり、その只中へと私達は導かれていったのです。本日は、極地の現場や研究の場で私たちが辿った道筋を皆様と分かちたいと願っております。私は、極地の氷こそが、地球の気候や環境の生き証人であり、また地球を守る番人であることをお示ししたいと思っております。

スライド 2 半世紀にわたる南極大陸での探検と研究

本日の講演は、極地氷床についての調査の使命、実際の活動、そしてそれらを踏まえた思いや考えに基づく、(1) 気候：過去と未来、(2) 地球環境、(3) 人類と人類紀、の3部から構成されています。これにより私達は、人類が自らの環境を傷つけたことに対し責任を負う新しい時代、すなわち人類紀の紀元を発見することになるのです。

スライド 3 白い惑星—極地から極地へ

極地では、雪と氷に覆われた広大な大地が広がっています。北極では、海水が凍ってできる積氷 pack ice は厚さは薄いものの、冬にはその広さは1,500万平方キロメートル以上にまで広がり、帯状に連なる大陸で囲まれているため、夏までそのままの状態を保ちます。しかしながら、大陸に囲まれていない南極周辺の海では、暑い季節（夏の間）には積氷はほぼ完全に消滅します。南極でも北極でも巨大な氷床は岩盤の上にあります。ちなみにグリーンランドの氷床の面積は200万平方キロメートル以上、南極の氷床は1,230万平方キロメートルあり、欧州大陸より広く、日本の30倍に相当します。積氷が融けても海水位は変わりませんが、氷床の場合は異なります。氷床は膨大な量の氷からできていますので、もしそれがすべて融けてなくなれば、海水位が70メートル以上上昇します。

スライド 4 極地氷床の“古記録”

氷床には、地球の気候と大気の詳細について、他に類を見ないほどユニークな様々の過去の記録が保管されています。氷は水の固体で同位元素を含んでいます。氷の中にある同位元素の濃度は、氷が形成された時の温度を示しています。濾過する過程で、雪と共に降り積もったごく小さい粉塵が採取されます。粉塵は大陸の粉塵、海水塩、あるいは火山の噴火物のように自然界に起因する場合があります。一方、鉛や放射性廃棄物等大気汚染と関連付けることもでき、加えて、その程度を測定することも可能です。不純物の濃度は極めて低く、化学計測するには高性能な機器が必要です。もし気候や大気汚染に関して他の様々な古記録が存在するとしても、氷には、閉じ込められた気泡という他に類を見ない宝物があります。氷の中の気泡こそ、大気の組成を解く唯一の証人なのです。

氷の年代を決める最も簡単な方法は、毎年積み上げられた層を数えることですが、この方法には限界があります。核実験や火山噴火などにより、ある程度は年代を特定できます。氷河学者はさらに正確に調べるため

に、より年代のはっきりしている海底堆積物と比較する、あるいは、気候の変化を正確に記録した天文学者のカレンダーなどと比較する方法で年代を決定するモデルを開発しました。つい最近、氷河学者たちはEPICA（European Polar Ice Coring in Antarctica「欧州南極氷床調査プロジェクト」）で採取した氷床コアに、78万年前に起こった磁場逆転の形跡を発見することができました。この発見はまさに古記録を見直す天の恵みとなっています。

スライド5 南極での半世紀にわたる掘削活動

1957年から1958年にかけて実施された「国際地球観測年科学探査」(IGY)以降、氷河学者たちは南極大陸氷床で深層掘削活動を始めました。具体的には、米国はバード、フランスとその他欧州はドームC、ロシアはポストーク、日本はドームFで氷床を掘削しました。氷床掘削が進められるにつれ、より太古の時代が出現してきました。直径わずか10cmの氷床コアサンプルこそ過去を蘇らせる記憶となるのです。氷の力学的性質と低温という条件のため、氷河学者たちには、氷床コアを採取するための特別な技術の開発が求められました。これは複雑かつ繊細な技で、絶えざるきめ細かな注意が必要でした。数メートルの長さの氷床コアサンプルを得るため、地上から誘導されるケーブルに吊るされたドリルにはエンジンやポンプ、電子機器が一体化され取り付けられています。ドリルは、穴が塞がるのを防ぐために注入された液体の中をゆっくりと上下するのですが、その行程で何度も失敗を繰り返し、時には壊れたりもしました。

スライド6 南極大陸東部：半世紀にわたる使命

雪がゆっくりと少しずつ積もり氷の流動が殆どない南極の極寒の地域には、長期にわたる記録が保存されていますが、そのような地域は中央部に位置し、容易には辿りつけません。米国とロシアが物資輸送の大半を担ってくれたお陰で、フランスとヨーロッパの探査チームも、その地域に行くことが可能となりました。500万平方キロメートルにおよぶ白い砂漠で、私達はスキーを履いた飛行機と雪上車を使い調査を進めました。そして、より大きいチーム編成で、重機を使い掘削活動を行いました。このようなプロジェクトを指揮するには、重い輸送機器の調達を含め、友情に基づく国際協力が必要でした。

スライド7 1956年：《未知の地》へ

IGYでは、日本やフランスを含む12カ国が殆ど手付かずの最後の大陸である南極の調査に力を結集しました。合計48の観測基地を建設、その内の4つは氷床の上に設置しました。このプロジェクトの目的は磁界と極光を調査することで、この年、宇宙に初めて衛星が打ち上げられました。気候学や氷河学という科学の新しい分野の幕開けで、南極での横断探検も計画されました。

スライド8 1957年：シャルコー基地で越冬

私は1957年に、二人の同僚と南極大陸標高2,400メートルの氷床上の雪の中に埋められた、わずか25平方メートルの小さな基地で1年間過ごしました。そこでの平均気温はマイナス40℃でした。当時シャルコー基地は内陸部に設置された数少ない基地の一つでした。

スライド9 1957年：シャルコー基地で越冬

水平線には見渡す限り白い雪原が広がっていました。そして何ヶ月も、私達は沿岸基地とも遙か遠くの家族ともコミュニケーションを一切とりようもありませんでした。私の研究は、何故南極がそんなに寒く冷たいかを明らかにするための「熱収支」に関するものでした。この越冬は素晴らしい冒険であり、肉体的に過酷でありながらも人間の良さを知るいい体験でした。南極から戻り、また文明社会とその大気中に含まれるウイルスに順応すると、私は、再び南極に戻ろうという気持ちになっていました。

スライド 10 1959年：南極ビクトリア地方の横断探検

フランスで1年間過ごした後、私は南極に戻り、アデリー地方の東に位置するビクトリア地方を横断する米国の探検隊に参加しました。私達は飛行機でニュージーランドから飛び立ち、1959年10月19日にEberus火山がそびえるマクマード基地に到着しました。米国人6名、ニュージーランド人1名、オランダ人1名の科学者から編成された探検隊は、それから119日かけて雪上車で2,500キロを走破し、内陸域の氷床の発見に新しい道筋を切り開きました。

スライド 11 1959年：南極ビクトリア地方の横断探検

私達は何度も驚くようなことや、困難と遭遇しました。数々のクレバスをぬって台地にアクセスするのは難しく、エンジントラブルや寒さ、ブリザード等に苦しみました。一方、アメリカの地図帳Atlasに掲載されている、私の名前にちなんでロリウス山と名づけられた山のある新しい山脈の発見もありました。今でも鮮烈に記憶していることは、その2年前のIGYの際に、フランスの仲間が置いていった、到達最南端地点の標識に設置されていた「郵便箱」を開けたことです。

スライド 12 1957年—59年：記録は、数十年レベルから数百年レベルへ

シャルコー基地では、夏期毎に積もった雪の層列を観察するため、深さ数メートルの雪穴を掘りました。夏期の雪は、風に吹きつけられた冬季の雪と比べると密度が小さく、大きな結晶からできています。雪穴を掘り測定する方法は、最近の層列ができた年を特定し、積雪量のデータを得る簡単な方法です。積雪の少ない中央地域では、このような方法で100年間のサンプルを採取することができます。

スライド 13 手掘り：1000年の記録に向かって

ビクトリア地方横断探検の間、何箇所かで数時間ずつ留まりました。雪上車で風を避け、手掘りで10～20メートルの氷を掘ることでさらに過去へと時代を遡りました。さらに深く掘ると、季節ごとの温度の周期の幅が次第に減少するのが観察できました。私達が探検した各地の年間平均気温は、穴の底に設置した温度計からわかりました。地震探査からは、氷床の厚さが4千メートル以上にも及ぶことがわかりました。

スライド 14 “同位体温度計”

探査を通じて採取した氷床コアサンプルは、フランスへ帰国するとすぐに、研究所で分析しました。雪や氷は固体の水であり、その同位体組成を測定し、酸素同位対比濃度 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ あるいはD/Hで表すことができます。これらの比率とサンプルを採取した現場で得た温度とを比較することから本当の発見につながったのでした。雪が降り積もった時の気温は、分析機器がかろうじて解読することができる印（暗号）を残していました。この相関関係を用いることで、氷床の深いところの古代の氷のサンプルから、私達は過去の気候を説明できるのです。

スライド 15 極地氷床コアの深度と年代

氷床コア掘削地点の質の良し悪しは降雪量や気温、高度と岩盤の起伏、氷の厚さや流動状態等様々な要素に依存します。これらのデータを組み込みモデル化すると、それぞれの深さで、どのくらいの年代の氷が見つかるかが分かります。積雪量が少なく、深く、氷の堆積層が流動で乱されていない氷床が存在する寒い地域は、中央部に存在し、それ故、辿りつくのが困難です。しかし古代の気候の記録を取り出すためにはこの中央部にこそ行かねばならず、そこは、そこで降った一つの小さな雪片が海に到達し融けるのに何十万年もかかる場所なのです。もしもっと若い年代が問題となるなら、今世紀の環境を解読するのが容易な積雪の多いところにある基地を選びます。

スライド 16 深層氷床掘削

私達は、私が1965年に越冬した南極アデリー地方の沿岸域の氷で、氷床コアの掘削をした際に掘削機器を開発しました。ある夏の夜、我々氷河学者の小さなチームのメンバーがシェルターとして利用していたキャラバンに集まり、生温かいウィスキーを飲みながらリラックスしたひと時を過ごしていました。そして、少々冒険的とも言える行為でしたが、私たちは生ぬるいウィスキーのグラスに100メートルの深さから掘削した氷のサンプルを入れました。すると氷に閉じ込められていた大気が解き放たれパチパチとグラスの中で破裂したのです。何気なくこの光景を見ていた私たちは、この気泡こそ古代の大気組成について証言しているのではないかと気づきました。しかしこのアイデアの正しさを証明するまでには、その後何年もの歳月を要しました。氷床コアに閉じ込められたガスを分析することは、技術的なチャレンジでしたが、それが出来れば、地球の気候変動（の進展）を理解する上で「革命」をもたらすものでした。

スライド 17 最後の30年で行った氷床コアの深層掘削

掘削地点の調査を行った後、これからお話しする深層掘削が1977年から実行に移されました。まず初めにドームC、次にボストーク基地、そして最後に再びドームCで行なわれました。

スライド 18 1974 – 1978年、ドームCでの氷床コア掘削

国際南極氷河学プログラムの一環として行った米国と英国のレーダー観測は、標高3,250メートルの地点に、氷床厚が3,000メートルある興味深い掘削地点を特定しました。私達はこの地点を目指して1,100キロメートル以上離れたフランスのデュモン・ドゥルビーユ基地から到達を試みましたが、探査は二度連続して失敗しましたが、この試みによって新しい極域を探査することができました。

スライド 19 1974年：ドームCで掘削現場の調査を指揮

掘削地点のデータを採取するため、米国空軍の飛行機がフランス人4名、米国人1名、ロシア人1名の計6名から成る小さなチームとテントや雪上車を搭載してマクマード基地を飛び立ちました。私達は、南極点基地で1週間を過ごし、体を気候風土に順応させた後の1974年12月に、夏の真っ盛りでも気温がマイナス35℃しかないドームCに降り立ちました。そこで積雪量と氷床の流動について数週間にわたってデータを収集し、その結果ドームCは積雪量が10センチ、流動は年間数メートル以下で氷床掘削に好都合な地点であることがわかりました。

スライド 20 1974年：ドームCで現場調査を指揮

ドームCでの探査の最後は困難なものとなりました。私達を迎えにきたはずのC-130輸送機が立て続けに2機、離陸時に墜落したのです。航空機の離陸を助けるロケットがサスツルギという雪の吹き溜まりに衝突して爆発炎上、スキーや飛行機の翼を破壊しました。飛行機への損傷の程度を見極めるためにやってきた最後のフライトで、私達は皆、無事にマクマード基地に戻ることができました。今でも、恐怖で体がすくんだことをよく覚えています。採取したデータによりドームCが有望な観測地点であることを追認しましたが、当時はそこへ再び戻るとは考えませんでした。その後米国は、損傷した飛行機を回収しました。実に驚嘆すべき偉業というしかありません。

スライド 21 1977年：ドームCで900メートル掘削

ドームCに初めて足を踏み入れてから3年後に、米国は掘削業者、技術者、研究者、医師、コックの13名から成る私達の調査チームと膨大な量の機器をドームCへ空輸しました。この掘削探査プロジェクトは成功で、掘削は2ヶ月間で900メートルの深さに到達しました。この深さは流体を使わずに到達できる最大深度でし

た。採取した掘削現場で氷の結晶を研究し、結晶のサイズが気候の移り変わりやと相関関係をもつということが発見しました。つまり氷結晶は寒冷期より温暖期の方が速く成長することがわかったのです。

フランスに帰国後、2万年前の最後の氷河期の終わりと、現在まで既に1万年続いている温暖期、すなわち完新世の始まりを明らかにすることができました。ドームCでの掘削を振り返って見ると、我々の使命としてより良い成果を上げたものは他にも数々ありましたが、この探査で我々が体験したりリスクや歓喜は、極地で深層掘削により氷床を採取、分析する力を持つ限られた国々の中でも、我々チームを際立たせるものでした。

スライド 22 80年代と90年代におけるポストーク基地での探査

私は長年、南極の中央に位置するソビエトの基地ポストークへ行くことを夢見ていました。冷戦が国際関係に脅威を与えましたが、それによって南極調査に携わる科学者の友情や出会いが損なわれることはありませんでした。1984年12月31日、米国空軍C-130は、フランス人氷河学者3名を、ソビエト人が掘削を行っていたポストーク基地へ空輸しました。そこでは、長年にわたる氷床サンプルが雪の中に掘られた氷の洞窟に貯蔵されていたのです。このフランスとソビエトの協同探査は何年も続き、ついに42万年間に亘る氷床サンプルへのアクセスを実現させました。

スライド 23 地球の寒極点

極夜が何ヶ月間も続くポストーク基地ではマイナス89℃の温度が記録されています。基地には、いわゆるスパルタ的な「快適さ」しかなく、ロシア語しか使われず、水道水はなく、基地の要員が入れ替わる前には生活物資にも事欠くような状態でした。しかし一方、我々のトランクには氷床コアを無事フランスへ持ち帰るのに必要な装具が完備していました。雪を掘って作った小さな部屋で、1年以上も家族と離れ越冬しているソビエトの人達と共に暖かい夜を過ごしました。

スライド 24 1984年のポストーク：15万年に亘る記録

私達の長年の夢が実現しました。2,083メートルの長さの氷床コアを分析した結果、15万年前の気候と大気組成の歴史を解明することができたのです。私達は初めて、直近の気候大変動サイクルにおける、温暖期と寒冷期のすべてに亘って、気候と大気中の温室効果ガスの濃度の相関を示しました。人類が地球上に現れる以前からの長期の時間軸で見ると、気候変動は太陽の周りを回る地球の軌道によって引き起こされ、その間、軌道上の位置に応じて太陽からエネルギーは時に多く、時に少なくなります。地球が辿る軌道に応じて長い温暖期や寒冷期があり、大気中の温室効果ガスが気候変動を際立たせるほど、温室効果ガスの濃度に変化を与えます。米国とソビエトの協力により突破口が開かれ、私達は、大量の温室効果ガスを排出する人間活動が原因で引き起こされた現在の地球温暖化について、20年ほど前に発表することが出来ました。これらの功績が、科学雑誌として評価の高い「Nature」の表紙に、ギリシャ神話で「宝庫」という意味をもつ“cornucopia”というキャプションで掲載されたことは、私やチームの研究が認知された証でした。これにより私はフランス科学アカデミーの会員に選ばれました。

スライド 25 1998年：ポストーク基地で42万年に亘る記録

1998年に深層掘削は3,623メートルに達し、得られた氷は42万年前のものでした。氷床コアを分析し得られた結果は、気候と温室効果ガス、海水位の三者には確かな相関関係があることを示す確かな証拠であり、第四紀の気候の大きな変動に首尾一貫した解釈を与えるものでした。氷河期と温暖期との間の地球の平均的気温変化は5℃で、これにより、氷床が拡大したり融解したりし、120メートルにもなる海水位の変動をもたらしているのです。この古代の氷床記録は、現在の温暖化を説明し、今後の気候を予測する手助けとなります。

スライド 26 ドームC、ボストーク、ドーム富士：気候変動

これらの研究は、南極大陸の反対側に位置するドーム富士で、日本の観測隊によっても成功裏に進められ、日本隊は33万年に亘る気候の記録を入手しました。このような長期のデータと、ドームCやボストークで採取したデータとを比較することによって、気候変動に関する一貫性のある全体像が得られ、私達研究者がドームCやボストークの記録を調べていたときに望んだように、氷床コアサンプル採取がもつ意味を強固なものにします。

スライド 27 ドームCにおけるEPICA、80万年に亘る記録

2004年、欧州12カ国から成るEPICAは、プロジェクトの一環として30年前に掘削を行ったドームCの近くで2,871メートルの深さの岩盤に到達しました。気候と二酸化炭素やメタンから成る温室効果ガスとの関連はこのときもまた顕著で、80万年間で今日ほど地球大気中の温室効果ガスの濃度が高かったことはなかったことが明らかになりました。私達は、寒冷期と温暖期について、その継続期間と寒暖の程度の双方に様々な違いがあることに気づき、これにより将来の気候研究に新しい道筋を開きました。

スライド 28 ドームCにおける1974年から2004年までのプロジェクト

このスライドは、最初の探査段階から80万年に亘る記録を探査するに至るまで、私達が歩んだ30年間の進歩を表しています。両プロジェクトを指揮した私や参加したメンバーはプロジェクトを通して大きな満足感を得ています。

スライド 29 二酸化炭素と地球温暖化の1千年

話を現代に戻しますと、過去1千年のデータから地球の温度が1℃近く上昇していることがわかります。過去百年について言えば、この気温上昇は人間活動による二酸化炭素やその他の温室効果ガスがもたらしたものです。この観点で見たとき、南極についてはどうでしょうか。氷河が融解し続け、中には消滅するものがあるかもしれません。ここで私の研究分野からは少し離れますが、極地における温暖化現象の結果を示す写真をご覧ください。この現象はまだそれほど深刻ではないかもしれませんが、私達が行っている探査の中で、まだそれほど厳しくないに見えることについても皆様の注意を注いでいただければありがたいと思います。

スライド 30 気温上昇と流氷

衛星写真を見ると、北極の積氷（アイスパック）は1979年夏の終わりと2005年夏の終わりを比較すると後退していることがわかります。気温が上昇すると大西洋と太平洋の間に新しい航路が開かれ、その結果、商業輸送や、新しい魚場へのアクセスが増大します。後退は加速していると思われ、石油やガス資源の宝庫である海底の開発が容易になります。この事実は既に、北極に隣接する5カ国による利害関係の衝突をもたらしています。

スライド 31 気温上昇と少数民族イヌイット

先祖代々の狩猟民族であるイヌイットは、積氷が不安定なため生計のもとであるアザラシや北極グマの狩猟が危険になり困難に直面しています。この民族は元々数も多くなく、沿岸地方に散らばって住み、伝統的に犬ぞりで行き来していましたが、積氷（アイスパック）が不安定になると、お互いの接触も減ってしまいます。このケースでは、気温上昇がまさに文化的変化の要因となっています。

スライド 32 気温上昇と北極グマ

そのシルエットが北極大陸の象徴になっている北極グマにとっても、餌食となるアザラシに近づくために安

定した積氷が必要です。そうでないと、小グマが生き延びられません。現在、2万～2万5千頭となった北極グマもこのような理由で絶滅種のブラックリストに載ってしまいました。

スライド 33 気温上昇と皇帝ペンギン

ヨチヨチした足取りで南極のシンボルとなっている皇帝ペンギンも、若いペンギンが確かに冬を越せるようにするため安定した積氷が必要です。綿毛がある間、若いペンギンは海に入って餌をとることが出来ないためです。ただ、南極の冬季の気温は低いため、皇帝ペンギンに関しては今のところ差し迫った問題とはなっていません。

スライド 34 過去と将来の気温

今世紀末に予測されている気温上昇は約2℃から6℃以上の間で変わる可能性があります。予測数値の大きな幅は、気候システムがどのようにして動いているのかについての私達の知識の不確定性および将来のエネルギーに何を選択するか依存しています。ここで過去の気温変動の影響について思い起こす必要があります。過去、平均5℃の変化は地球の景観を一変させています。最後の氷河期には地球は氷で白く覆われていました。将来、地球は氷で覆われる部分が増える可能性もあります。

スライド 35 気温上昇と海水位

大陸の氷が融けるため、今世紀末には海水位が10センチから1メートル上昇するでしょう。しかし海水位の上昇は氷床が今後どのようになるかに左右されますので、この推定は必ずしも正確とは言えません。氷が融けるはっきりとした最初の兆候はグリーンランドで見られ、融けた範囲の拡大していく様子が衛星写真からもわかります。融ける速度が速まる恐れもあります。南極は、温暖な南極半島を除くと、影響を受けにくいようです。脅威自体が存在することは確かですが、海水位より下に基盤が位置する氷河が不安定となるといった関係で急激な変化が起こらない限り、膨大な氷の量から考えると超長期的スケールとなるでしょう。

スライド 36 南極大陸：氷河とマスバランス

宇宙から見ると、南極大陸の中央部に海の方へ流れている「氷の川」を見ることができます。内陸の氷のマスバランス（質量平衡）、つまり雪が積り氷河となって流動し、沿岸地方で融けることによって失われた雪の差については、まだ十分解明されていません。また気温上昇は降雪量を増やすであろうし、その結果として海水位の上昇速度をゆっくりさせることになるために益々わからなくなっています。これは遠い将来についての不確実要因の一つとなっています。南極の氷の容積は、地球の海水面の高さ70メートルの水の量に相当します。

スライド 37 密接な関係をもつ氷と気候

これまで見てきたように、氷と気候は運命共同体のようなものです。数千万平方キロメートルにも及ぶ白い大陸は気候変動についての証であり、重要な要素でもあります。それはまた、氷が寒冷期に拡大し、温暖期に融解することでも分かります。さらに白い大陸は、太陽から受けたエネルギーのかなりの部分を表面積に応じて多かれ少なかれ宇宙に送り返し、その結果、寒冷期には気温が下がり、温暖期には気温が上がるのです。このようにして極地における氷の拡大は気候の変動をより大きなものにしますが、このふたつの関わりの度合いは、氷の厚さがもたらす脆弱さに応じて多少変わります。北極における温暖化は、そこに積氷がある故に、地球のどの地域における温暖化より二倍も三倍も重要で、実際この事実が将来の気候の前兆となるといっても過言ではありません。

スライド 38 半世紀にわたる南極大陸での探検と研究

氷床に深く埋もれていた秘密を発見できたお陰で、私達は将来の気候に対する見方を変えました。さらに極地の氷は、これから説明する、私達の環境について他の数多くの情報も内包しています。

スライド 39 北極と南極：唯一つの惑星

氷河学者になるための研修を受けていた時期、数ヶ月をかけて南極から北極へ移動する中で、私はオーロラを目のあたりにしました。この美しい色彩のベールは、地球を取り巻く磁場によって特定されたゾーンで、太陽風粒子と大気が衝突することで発生します。この磁場が無ければ、地球上には生命は成長しませんでした。当時の私は地球や海についてまだよくわかっていませんでしたが、当時から私は、私達にはこの惑星しかないということを実感していました。

スライド 40 大気を共有する北極と南極

気象学者が大気を綿密に調査する以前に、北極と南極が大気を共有していることは、北極から南極へ渡り鳥が移動するのを観察した昔の探検家によって発見されていました。

スライド 41 北半球での公害：グリーンランド

グリーンランドの雪から検出された硫酸塩の濃度は、1900年代以降、著しく高くなっており、北半球全体の公害の指標となっています。北極の霧の原因になっている硫酸塩は、海塩や火山の噴火等、自然界で生成されますが、石炭の燃焼によっても発生します。石炭の燃焼が、計測された硫酸塩濃度の上昇の原因だと思われれます。一方、近年その濃度は下がっており、それは大都市で炭素を排出する際に硫酸塩を除去するようになったことによるものです。

スライド 42 北半球での公害：グリーンランド

グリーンランドの雪からは、別の公害源である鉛の濃度が上昇していることが計測されています。鉛の濃度の上昇は、初めのうちは、産業活動の結果によるものでしたが、1930年代からは工業国で使用した、ガソリンに含まれる鉛の添加物が原因で、その結果、19世紀初頭の自然界における標準レベルの200倍の濃度となっています。無鉛化ガソリンの使用によって、この短命のエアロゾルの濃度は低下傾向にあります。鉛による大気汚染が減少したことを氷の記録ではっきりと証明するまでには数十年を要します。

スライド 43 地球規模の公害：放射能

1970年代初頭、南極大陸の雪から、北半球での核実験で発生した放射性廃棄物の粒子を検出したときには、私は大きな衝撃を受けました。この事実は地球上で大気は一つであることの証明でした。たとえば、1964年から1965年にかけて放射性粒子の非常に高い濃度を検出しましたが、これはその2~3年前に北半球で実施した核実験によるものです。放射性粒子からのシグナルは非常に強く、最近の雪の層の年を特定できるほどでした。ストロンチウム90やセシウム137のような標識化合物の半減期は20年ほどであり、時間の経過とともに無責任な行為の証拠が少しずつ消滅するということになるのです。

スライド 44 地球規模の公害：“オゾンホール”

私達が呼吸をしている地上レベルの空気中のオゾン健康にとって有害ですが、成層圏では豊富に存在することが極めて重要です。何故なら、オゾンは、紫外線が地表に達する前にそれを吸収して私達の生命を保護しているからです。そしてまた、地球規模の公害が発生していることの証として、北半球の工業国が放出したフロンガス（CFC）によって引き起こされた「オゾンホール」を発見した研究者達がいたのも南極です。

「オゾンホール」は、時には予測不可能ですが、人間活動が地球環境に及ぼす影響を示しています。1987年に締結され、2007年に190カ国で批准されたモントリオール議定書が、フロン放出を画期的に減少させ、ひいては「オゾンホール」の縮小につながることを願っております。

スライド 45 北極から南極：唯一つの海

青い惑星を探検した自然主義探検家は、ザトウクジラが北から南へ移動するのを観察し、地球には一つの海しかないという考えを導いています。

スライド 46 地球規模の公害：ゴミの廃棄場としての海

地球の生命のゆりかごである海が、現在、数々の公害によって脅かされています。海の汚染は局地的に起こり、投棄された油は海岸に流れ着き、そこに生息する動物群にも悪い影響を及ぼしています。さらに北極海の海底では原子力潜水艦が潜航し、将来の危険となっています。地球規模で算定することは困難ですが、人間活動によって海の40%以上が悪影響を受け、まったく被害を受けていない海域はほとんどないと推測されます。

スライド 47 半世紀に亘る南極大陸での探検と研究：人類と人類紀

人類は、地球上に初めて出現して以来、生きるため、自分を自然から護る必要がありました。最初は、木の実等を集め、狩りをし、次に農耕と動物の飼育によって糧を得ました。完新世に入ると、火を起こすことを発見しましたが、これが温室効果ガス放出の始まりでした。人口の増大に伴い、人々は集まり、町がつくられ、次第に工業化時代へと移行しました。私達はこの時点で、増大する公害に特徴づけられる人類紀に入り、自らが住む自然環境に深い傷跡を残すようになったのです。このような状況に対する警鐘が、ほとんど人が住まず、公害の源から遠く隔たった極地から発せられていました。

スライド 48 気温上昇へのチャレンジ：生活環境、資源、戦争や紛争

気温上昇は、人類紀が現代社会に、取り組むべきとして与えた最も緊急な課題です。私達の生活環境は嵐や旱魃、生物多様性の喪失等によって抜本的に変わらざるを得ない可能性が大いにあります。淡水や食料等、生命維持に不可欠な資源は乏しくなり、現在使っているエネルギー源も枯渇するでしょう。今もあちこちで起きている紛争や戦争は、食料を求めるため、あるいは海面上昇による洪水から逃れるため人々が移動することにより引き起こされることで益々増加することになります。最初の犠牲者は貧しい国に暮らしている人々で、既に足元まで水に浸かる状態に追いやられたり、乾燥した砂漠で暮らしたりしている人々です。

スライド 49 気温上昇：私達に何ができるか

宇宙から見ることでできるアフリカの夜と米国・欧州の夜景からはっきり分かるように、世界の都市の明かりは、地球上で人口や活動、公害が不均等に配分されていることを示しています。本年度の「ブループラネット賞」受賞者であるゴールデンベルク教授を初め、何人かの受賞者が証明したように、温室効果ガス排出を削減する可能性は、もちろんあります。エネルギーの節約やライフスタイルの変更、気候やエネルギーの研究等を可能性として取り上げることもできます。しかし何はさておきその前に、人々は「真の国際的結束」が不可欠であることを意識するようにならねばなりません。しかし残念ながら、現在のところ世界はまだこうはなっていません。

スライド 50 地球の気候と環境：私達の反応

私達は危険が迫っていても、えてして直視しようとはしません。政治家や政策決定者、市民は、いつでも地球を守る必要があることには同意するものの、決して行動につながる第一歩を踏み出しません。様々な理由

により誰もが危険をあえて見ようとはしないのです。

スライド 51 環境：チャレンジに直面する人類

私たちの日常の水平線の彼方、極地の氷の水平線の彼方に、私達は、地球を守らねばという緊急性を感じていませんし、健康やエイズ、飢饉といった問題となっている他の課題についても同様で、私は間違っていると思いますが、私達は、技術の進歩が消費によるダメージを埋め合わせてくれるといつも期待しているのです。個人の生活については、富や権力や快適さを追及することは、市民としての行為を正当化するものとなっています。つまりこれらの行為に対しては公の判断に基づき行動している政治家や政策決定者は容易に決定を下すことができないのです。

スライド 52 人類紀：氷の中の足跡

1995年のノーベル賞受賞者である Paul J. Crutzen は、「人類紀」という言葉を用いて私達が入った新たな時代を特徴づけました。そこでは、人間活動に伴う公害が、地球規模で環境を破壊しているのです。これはまた、大気中の二酸化炭素の劇的な増加が極地の氷に刻まれた時代とも言えます。

スライド 53 二酸化炭素：人類紀の誕生

大気の中に含まれる二酸化炭素は、その排出の大半がエネルギー源としての化石燃料の使用によるため、人間活動のほぼすべてを表す指標になります。南極の氷に閉じ込められた直近の千年間の気泡の中の二酸化炭素の濃度を測定したところ、19世紀初頭まではそこそこ安定していましたが、その後は加速度的に上昇し、現在では40%増のレベルに達しています。

スライド 54 環境問題と国際統治

程度の差はかなりありますが、世界のすべての国と市民は地球温暖化と環境悪化に責任を負っています。私は、その解決策は国際統治の中にもみ見出されると考えていますが、多くの紛争を抱える現在の世界情勢では現実的とは思えません。統治を実現するには、人類を混沌の瀬戸際まで導く破局が起きるのを待たなくてはならないのかも知れません。しかし、そろそろ将来の「環境に対する権利」を夢みようではありませんか。半世紀前、IGY（国際地球観測年）に参加した科学者達は、各国政府を説得して「南極条約」の調印に同意させたのですから。

スライド 55 自然と共存して

フランスの熱帯砂漠探検家 Theodore Monod は、「私たちを取り巻く世界を理解することにつながった探査や研究を超えて、私たちは、広大な宇宙の中に行く、この小さく大変壊れやすい惑星に対してどのような行動をとるかを考えることが重要である」と言いました。これこそが、私が長年の極地氷床そしてそれを通しての研究の終わりに伝えたい短いメッセージです。この言葉はまた、フランス極地探査研究所の創立者である Paul Emile Victor の絵でも「自然と共存して」というタイトルで描かれています。

スライド 56 地球は私たちの手の中に

このロゴは将来の環境、つまり将来の現代社会に対する私達の責任を象徴しています。本日の講演を締めくくるにあたり、私達の惑星を保全することを目的とした「ブループラネット賞」に心より感謝したいと思います。そして、本日も出席の皆様にも感謝申し上げます。この感謝の気持ちはまた他の氷床研究者にも敬意を表するもので、私達の文明にとって必要な「基盤的」な研究をやり遂げたいという彼らの意思を支援するものであります。