

私の地球学

未来可能な地球社会をめざして
ーパタゴニアに始まる地球研究遍歴47年ー

安成 哲三

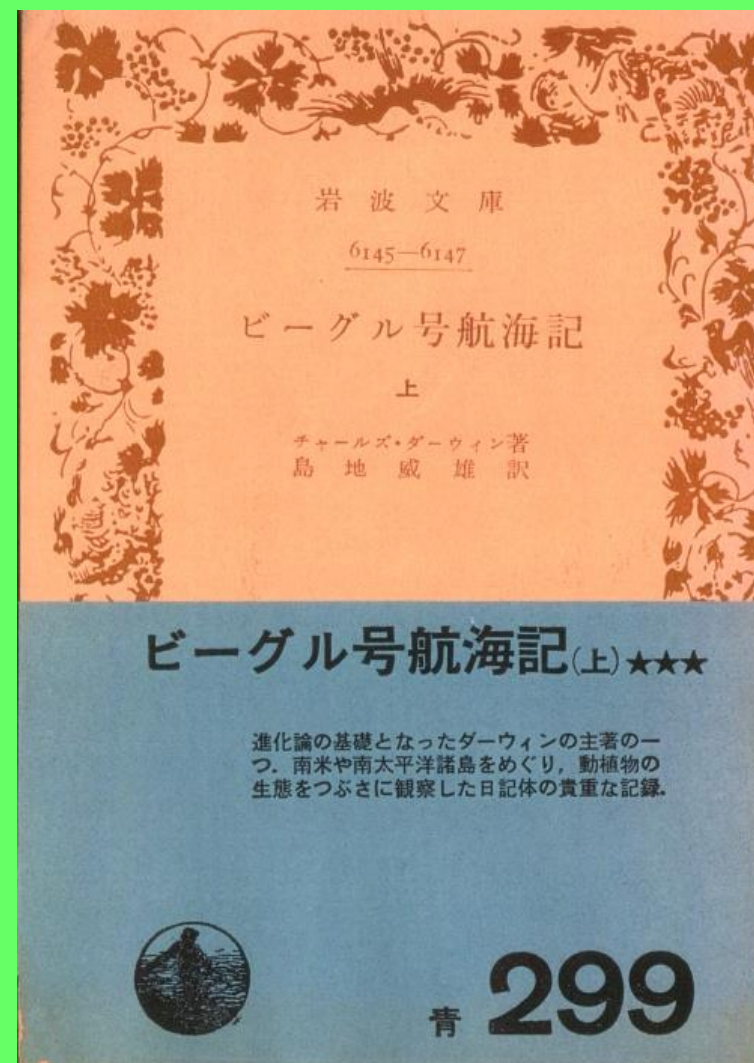
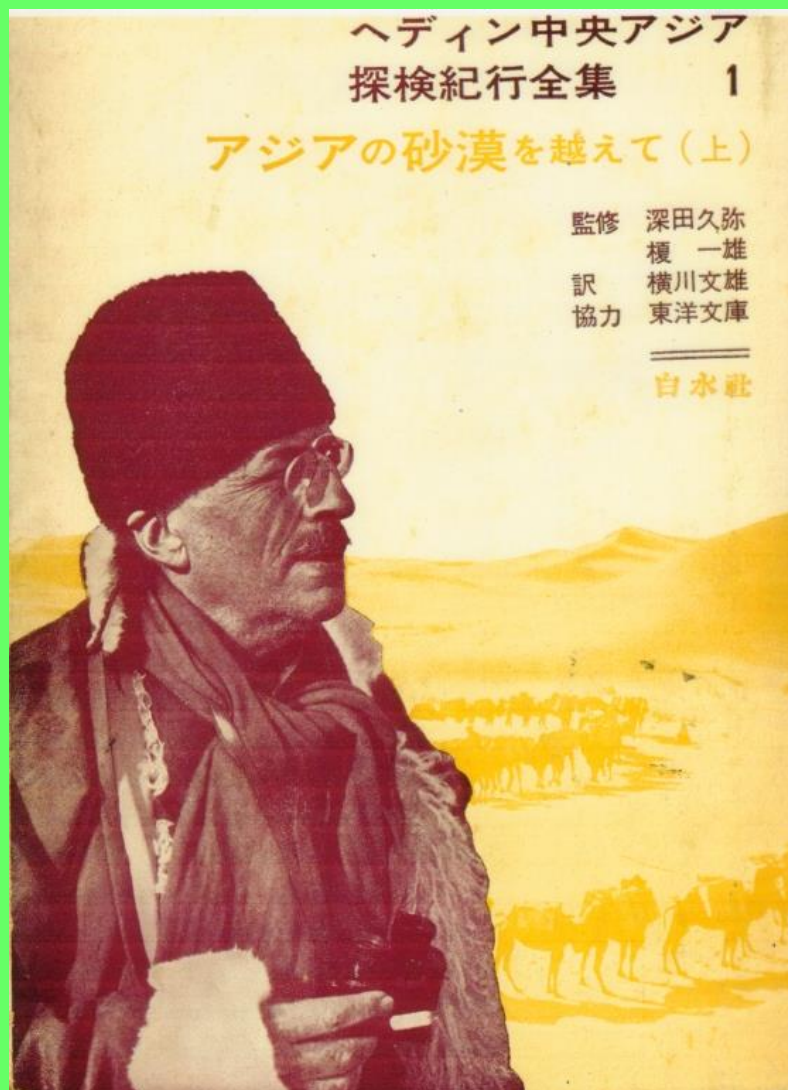
大学共同利用機関法人 人間文化研究機構 総合地球環境学研究所長

筑波大学・名古屋大学 名誉教授

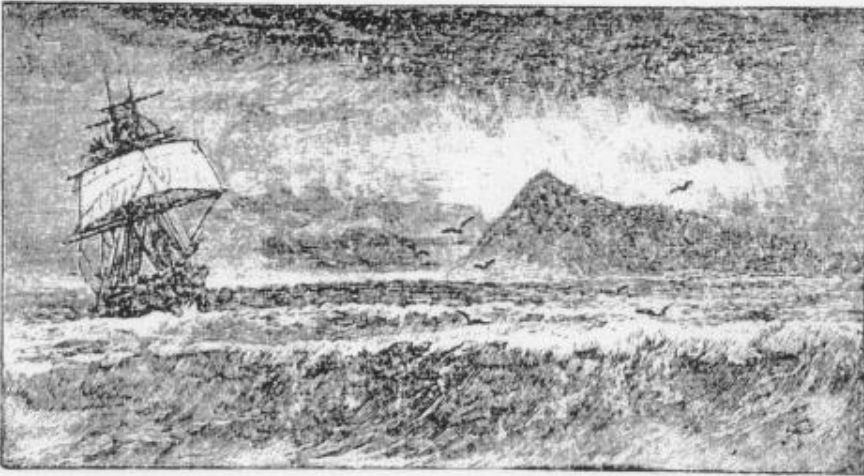
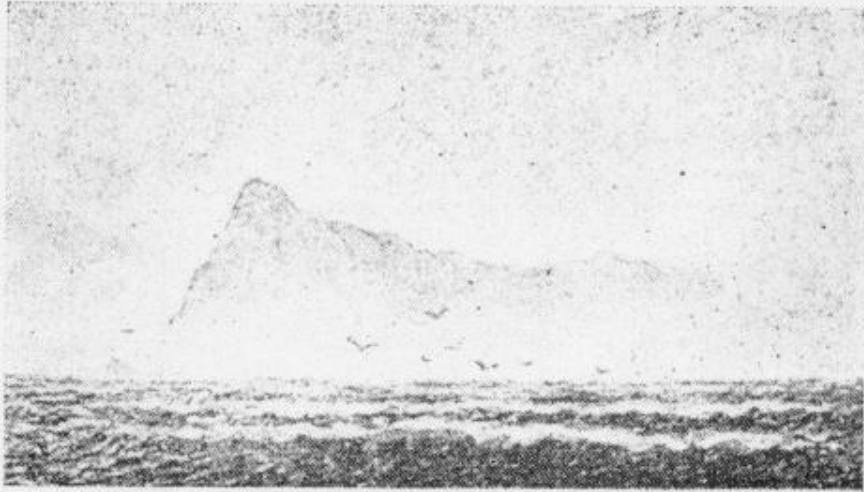
日本学術会議 Future Earthの推進と連携に関する委員会委員長

京都大学探検部OB 京都大学学士山岳会(AACK)会員

高校時代、熱中して読んでいた本の例



なぜパタゴニアへ？



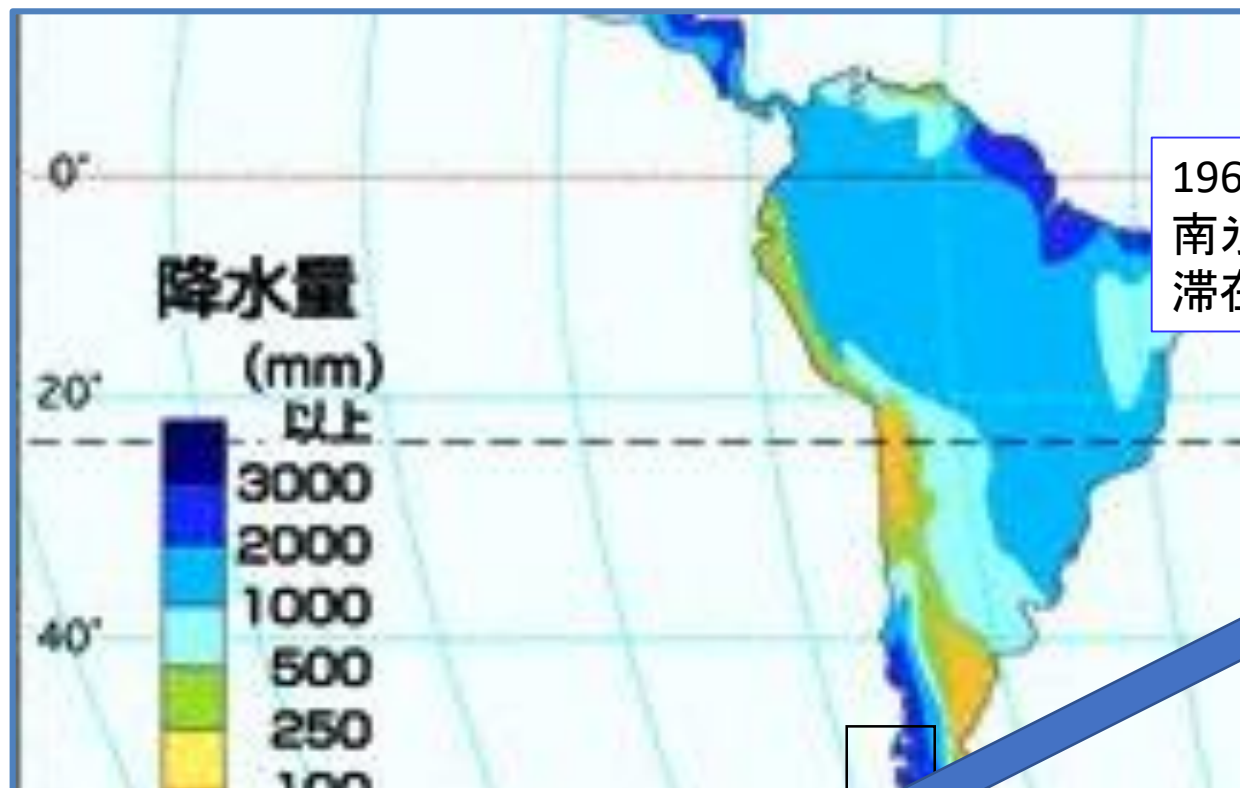
ケープ ホーン

高校時代に読んだ C・ダーウィンの「ビーグル号航海記」 のパタゴニアの記録に強く感銘

「.....山脈がつぎつぎに重なって、その間には深い溪谷があり、すべてが一団の密生したうす暗い森林に覆われているのは、極度に神秘的な荘厳なものがあった。 疾風が疾風に続いて、雨、霰、霰を呼ぶこの風土では、大気もまたどこよりも黒ずんで見える。マゼラン海峡では、飢餓港から真南を見渡せば、山脈の間にはるかに遠く水路が陰鬱な様相を呈して、この世の限界の彼方に導こうとするように見えた。.....」

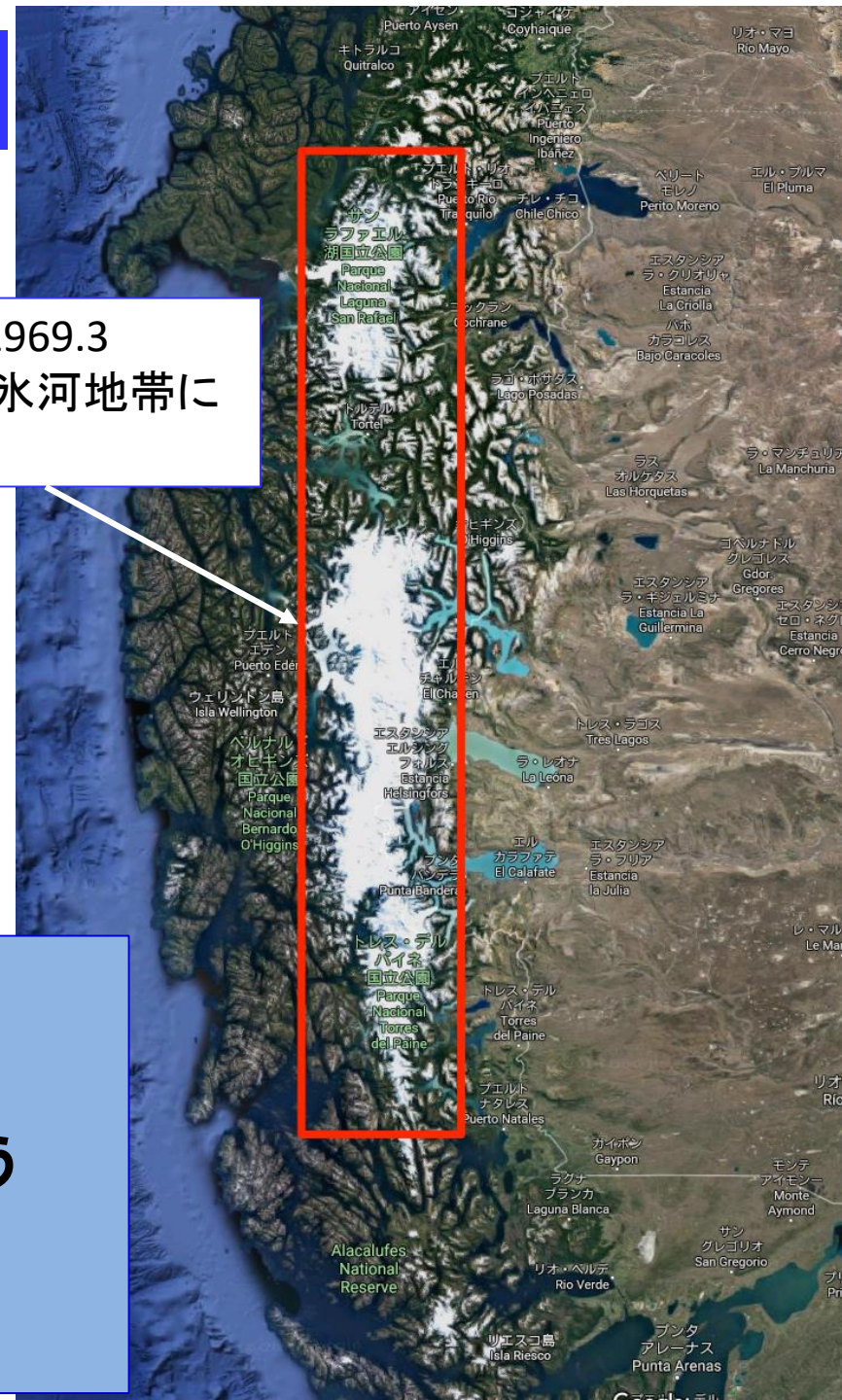
ーチャールズ・ダーウィン
(『ビーグル号航海記』 岩波文庫、島地威雄
訳)

チリ・パタゴニアの何を探検するのか？



1968.12~1969.3
南氷床の氷河地帯に
滞在

- やはり、パタゴニアの気候と氷河が気にかかる。
Eric. Shipton “Land of Tempest”（嵐の土地）
- 南緯50° という中緯度の、高度2000～3000mという高度になぜ大きな氷床があり、なぜ海にまで至る多くの氷河が存在できているのか？



大阪大学 川井直人教授(地球物理学・地質学)との出会い

大陸移動とプレートテクトニクスを古地磁気から研究

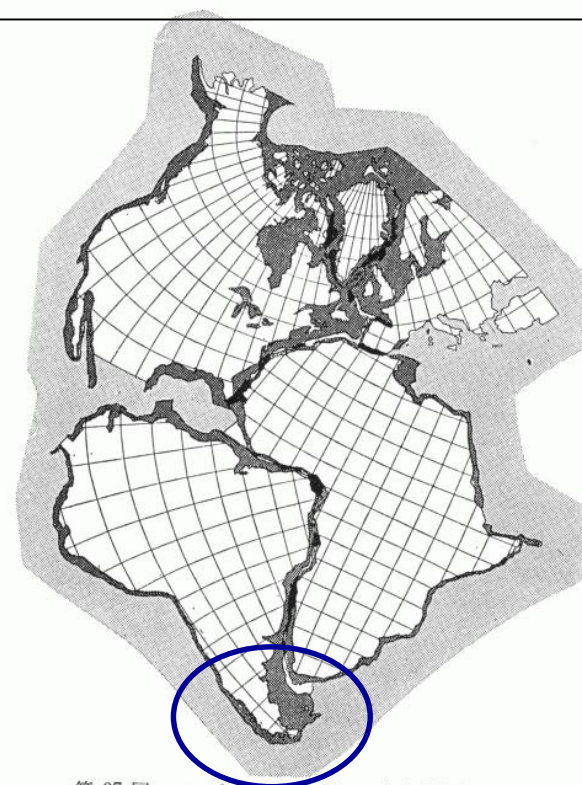
川井: パタゴニアか！ ええなあ！。あそこは南米大陸と南極がどう離れていったかを探るのに
おもしろいところや？

これ、やる気なら、サポートしたる。

安成: やります。



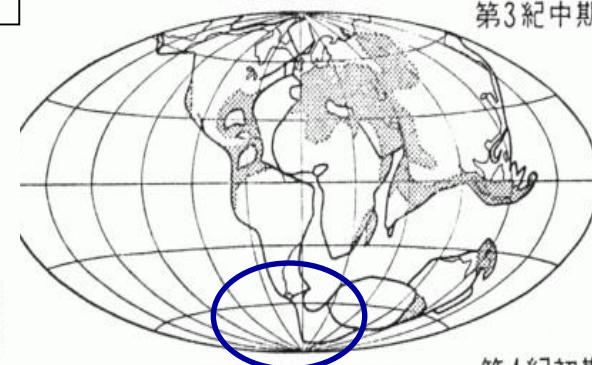
かわい・なおと 一九二二年、大阪市に生まれる。京大理学部卒。理博。京大助教を経て、阪大基礎工学部教授となる。専門は岩石磁気学と高圧物理学。前者は京大時代から一貫して研究していたもので、本書も出てくる地磁気の振動、日本列島成立に関しての屈曲の問題などで表した学説は学界に大きな反響をよんだ。また、後者の研究で七二年、学士院賞を受賞。研究以外の趣味は犬。ワイアーヘヤー・フォックスコリア協会大阪支部長をつとめるなど、学問と犬をこよなく愛した氏も病魔には勝てず、七九年七月、ガンのため惜しくも逝去された。



第 27 図 コンピューターを用いて大陸を接合する



石炭紀後期



第3紀中期



第4紀初期

第2図 大陸移動の歴史



地磁気
の謎

地磁気は気候を制御する



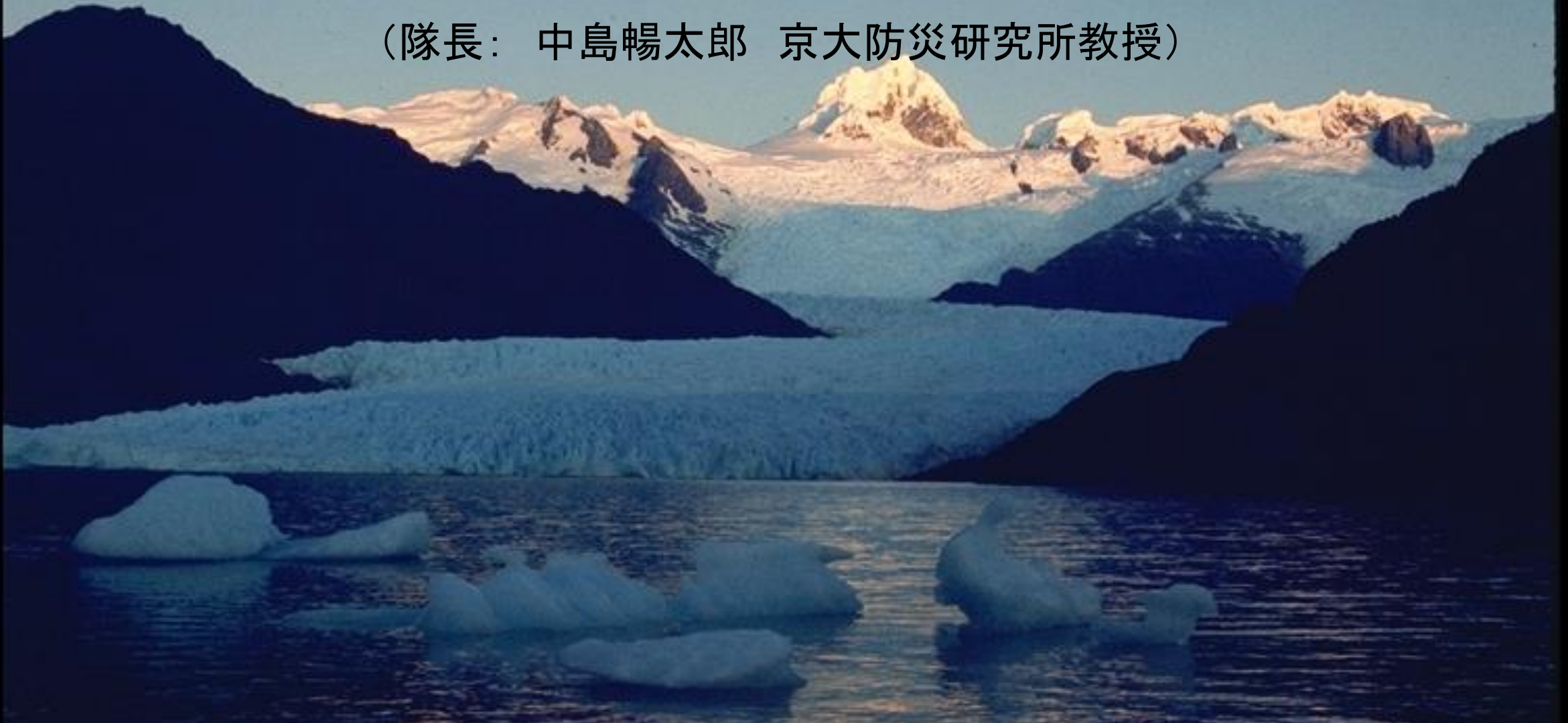
川井直人

B280

チリ・パタゴニア1968—69

京都大学探検部チリ・パタゴニア氷河・古地磁気調査隊

(隊長： 中島暢太郎 京大防災研究所教授)



氷河観測と南氷床氷原踏査

2か月の滞在中、晴天は3日間だけであった

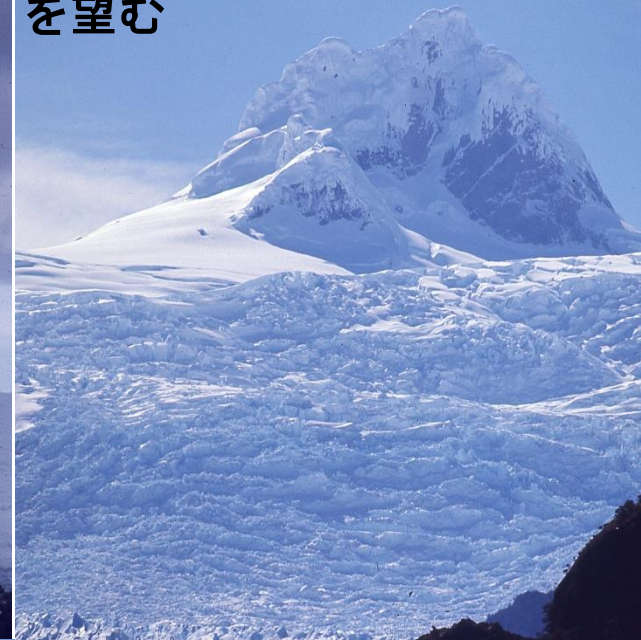
HPS10氷河上での観測・調査



氷床上部の氷原を望む



南氷床最高峰リソパトロンを望む



氷床端の未踏峰をめざす

連続する氷河湖群



寺本巖

井上治郎

井上民二

未踏峰登頂！



ゴムボートで
HPS10氷河に向かう



測器を点検中の
井上治郎隊員



ゴムボートでの
川の渡渉



中島暢太郎
隊長



島々での古地磁気調査

安成哲三： チリ・パタゴニア 1968-69 ある学生探検の記録 岩波書店『科学』(2004～2005)に15回連載

[安成のHPからダウンロードできます](#) (業績リスト⇒IV 科学エッセイ他⇒)

<http://www.chikyu.ac.jp/yasunari/yasunari.bak/list/essaysothers.html>

65. 安成	哲三, 2005: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第15回	さらばチリ・パタゴニア. 科学, 75(6), 760-767.[pdf]
64. 安成	哲三, 2005: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第14回	海の放浪民「アラカルーフ」. 科学, 75(5), 624-629.[pdf]
63. 安成	哲三, 2005: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第13回	サン・ハビエル号航海記(その2). 科学, 75(4), 519-524.[pdf]
62. 安成	哲三, 2005: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第12回	サン・ハビエル号航海記(その1). 科学, 75(3), 378-383.[pdf]
61. 安成	哲三, 2005: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第11回	氷のフィヨルドでのゴムボート転覆. 科学, 75-2, 255-260.[pdf]
60. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第10回	美しく楽しい晴れの日々. 科学, 75(1), 134-137.[pdf]
59. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第9回	探検の原点. 科学, 74(12), 1466-1475.[pdf]
58. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第8回	嵐の湖からの生還. 科学, 74(11), 1353-1359.[pdf]
57. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第7回	湖畔観測基地から氷河へ. 科学, 74(10), 1196-1202.[pdf]
56. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第6回	氷河地帯へ. 科学, 74(9), 1138-1144.[pdf]
55. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第5回	ウェリントン島の探検 科学、74(8)、1012-1018.[pdf]
54. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第4回	「きょうと」号の遭難 科学、74(7)、916-921.[pdf]
53. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第3回	チリ・パタゴニアへ. 科学、74(6)、783-789.[pdf]
52. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第2回	探検とはプロジェクトである. 科学、74(5)、674-680.[pdf]
51. 安成	哲三, 2004: チリ・パタゴニア 1968-69	ある学生探検の記録 第1回	探検部とは. 科学、74(4)、545-552.[pdf]

パタゴニア1968－69：その後

- 中島暢太郎（AACK、元山岳部長）が代表となって、科学研究費（海外学術調査）で継続的な研究が開始され、多くの若手研究者が参加して進められた。
- 特に、安仁屋政武（筑波大、AACK）らを中心に現在まで長期的な調査・研究により、パタゴニア氷河群の半世紀におよぶ変化が明らかにされた。
- 1968－69年に同時に行われた京都大学探検部アンデス栽培植物調査隊（田中正武隊長）は、その後、山本紀夫（民博、AACK）によって、継続的な調査・研究が進められ、世界の栽培植物変化・進化が明らかにされた。

パタゴニアから帰って見たら、大学闘争（全共闘運動）が
全国の大学に広がっていた（1968～1970）



チリでもチェ・ゲバラは英雄だった

(私にとって) 全共闘運動とは何であったか

- 大学当局批判から体制（権力）に組み込まれた学問批判へ、全国の大学に拡がる。
- 現在の科学の基底に流れる近代合理主義への批判と超克をめざす思想的運動への共感。

<私にとっては>

- パタゴニアの「探検」の総括。「帝国主義的探検」か、それとも、純粋な知的探求だったのか？
- 大学で細々と「地球物理共闘会議」を結成するも、挫折。
- 翌年、結局、大学院進学をめざす。「学」をやりながら考えていこう。

大学院修士課程へ (1972~74)

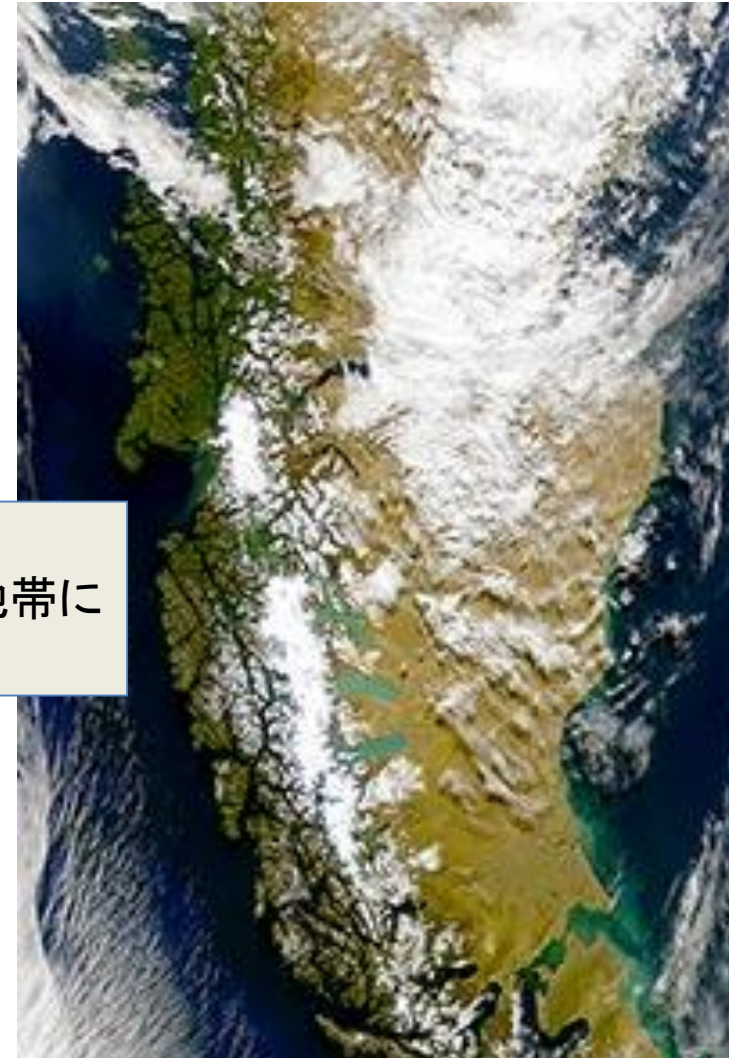
大陸移動に伴う気候変化をやりたかったが、
その出発点として、結局、パタゴニアの気象
と氷河の問題を選んだ。

⇒大学院では固体地球物理学から気象学に
鞍替え

パタゴニアのふたつの氷床

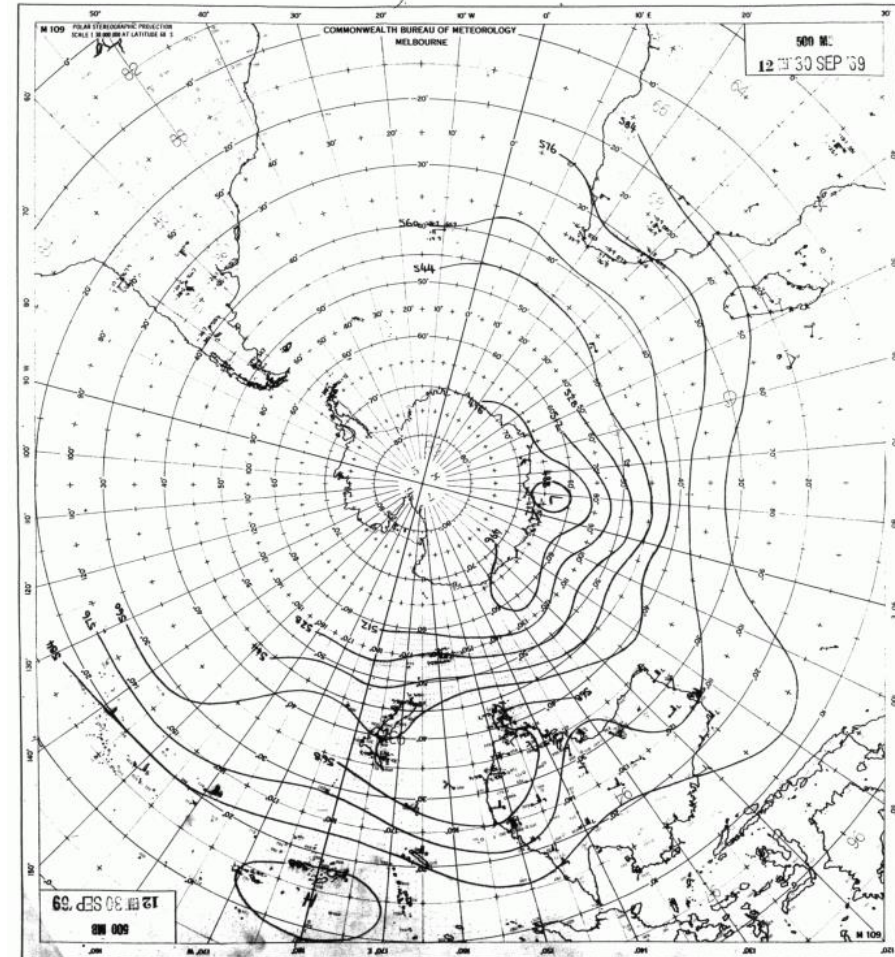
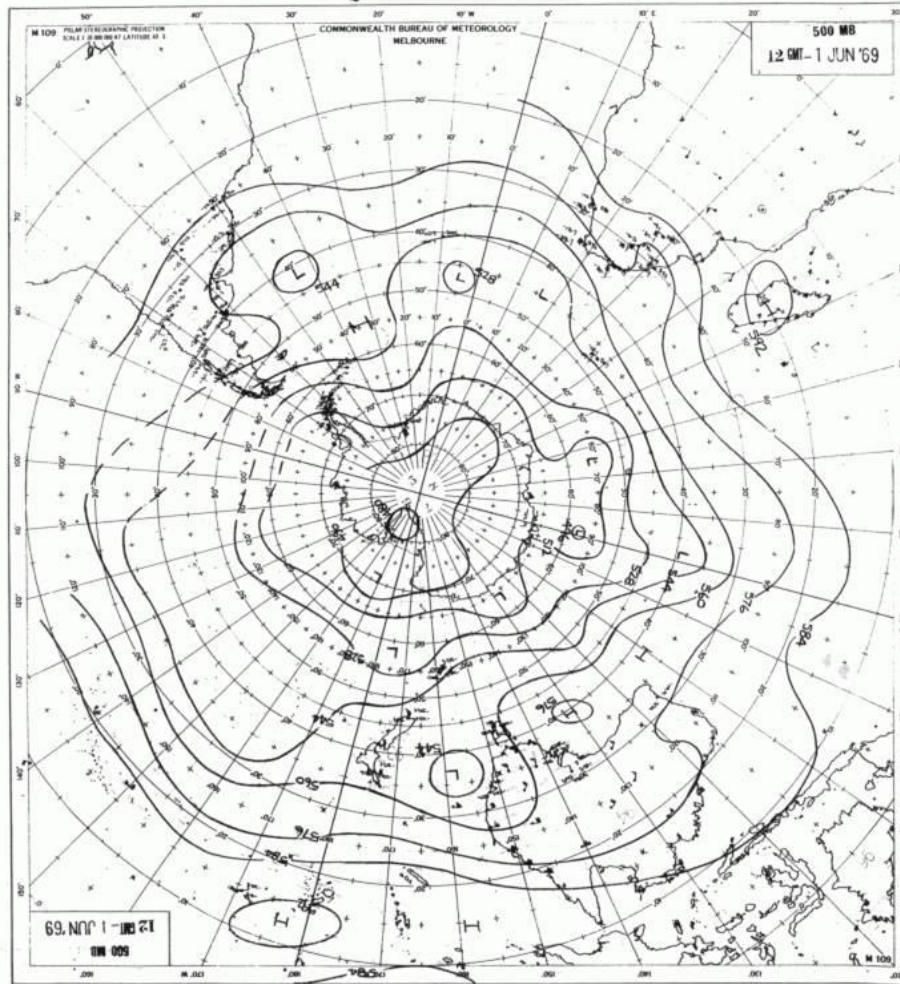


1968.12~1969.3
この付近の氷河地帯に
滞在していました。

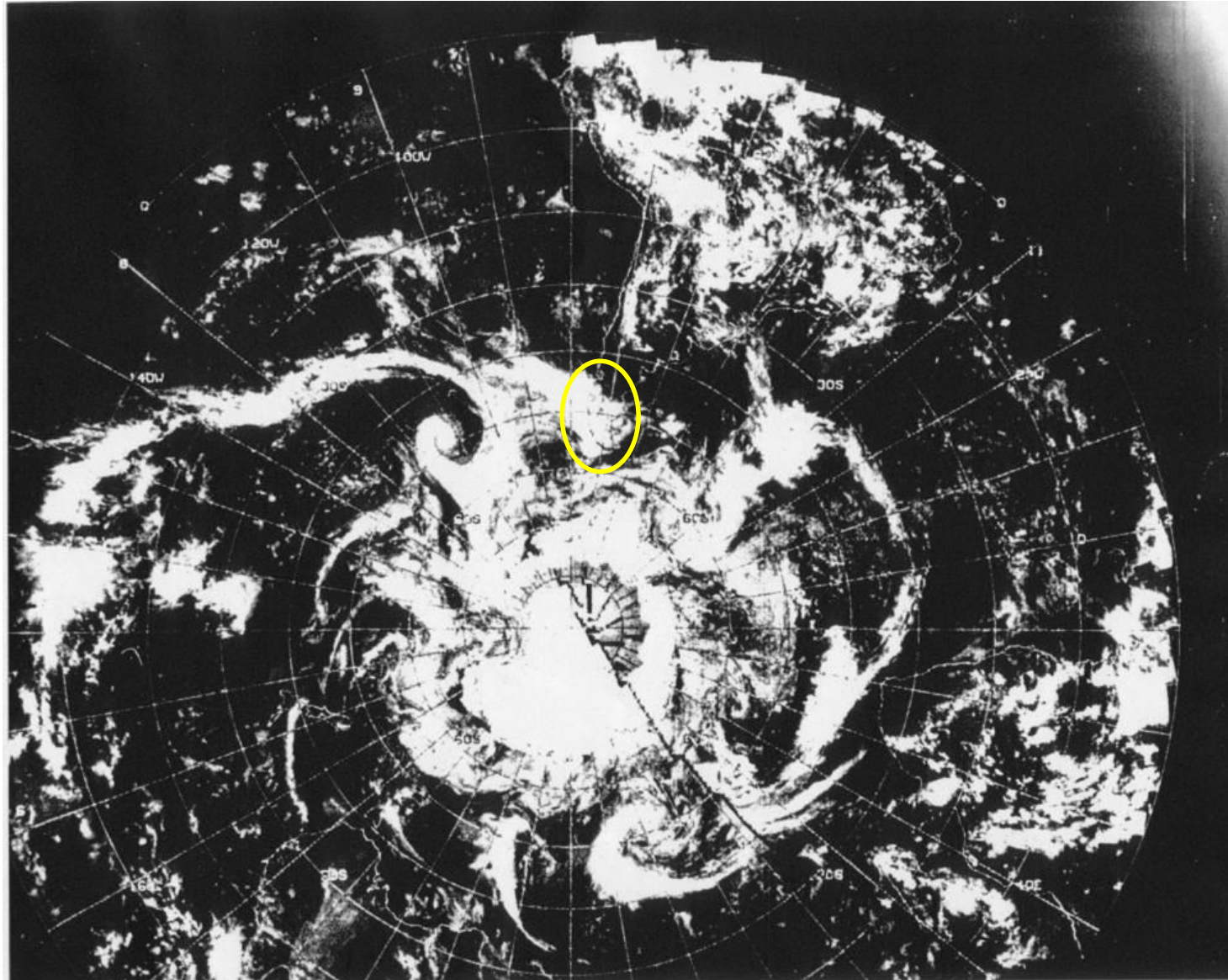


- やはり、パタゴニアの気候と氷河が気にかかる。
- 年間数千ミリ(以上)という氷床上の降雪はどのようなしくみでもたらされるのか？

高層観測データは結局手に入らなかった。1968~69年頃、南半球天気図には、南太平洋、大西洋など、まだ空白の地域が存在していた。



南半球は米国の気象衛星ESSAのみが半球全体を
カバーしていた。（1960年代後半～）



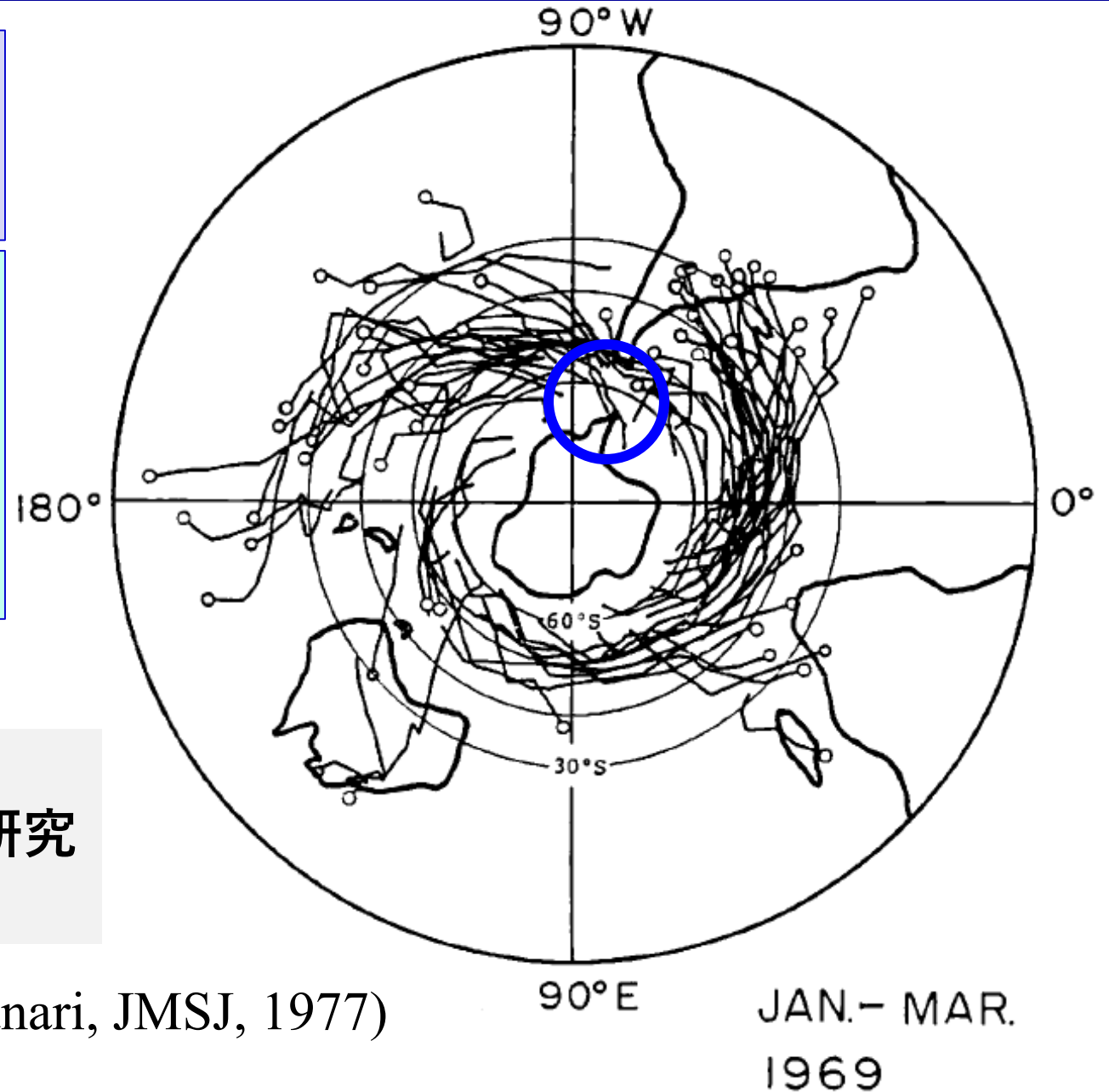
気象衛星で追跡した南半球中高緯度の低気圧経路(1969.1月-3月)

“Land of Tempest”（嵐の土地）
としてのパタゴニア

次々にチリ・パタゴニアに來襲
する低気圧は、氷床地域に
年間4000mm以上の降水を
もたらしている！？

修士論文
南半球中緯度偏西風帯の衛星気象学的研究
1974年2月

(Yasunari, JMSJ, 1977)



大学院(博士課程1974~76): パタゴニアからヒマラヤへ



チベット高原

1. エベレスト
(チョモランマ)
(8848m)

2. クンブ氷河
(末端は約5100 m)

3. ハーゲン
GEN気象観測所
(4420m)

口絵Ⅰ チョモランマとその周辺の氷河。 遠景は、乾燥したチベット高原。手前の二つの谷が合流する所に、ネパールヒマラヤ氷河学術調査隊は観測所を設置した。

(1974年12月23日撮影。同調査隊提供)

若者たちで作られた**比較氷河研究会** (1973~1978)

- ・ (実質的)リーダーは当時30歳の渡辺興亜名大水圏科学研究所助手(後に国立極地研究所長)、コアメンバーとして、まだ大学院生だったAACKの上田豊、井上治郎、中尾正義などが活躍。
- ・ 計画立案から現地調査(観測)まで、すべて、名大、京大、都立大、北大などの助手、大学院生が担った。(AACKからは他に、福嶋義宏、横山宏太郎、太田岳史、幸島司郎、佐藤和秀などが参加)
- ・ 予算も最初は手弁当(コンサル下請けで積雪調査等)
- ・ 1974年、科研費(海外学術調査)が採択された。代表者は樋口敬二名大教授(AACK会員)。分担者として中島暢太郎、樋口明生(AACK)らも参加。

樋口(敬二)教授 「おい、ところで僕は何をすればいいんだね。」

若者たち 「まあ、あいさつ回りでもしてください。」

⇒ 若手研究者を育てるために重要な役割！？

テーマ： ヒマラヤの氷河の維持・変動は モンスーンが決めているようだが、よく分からないので 調べよう

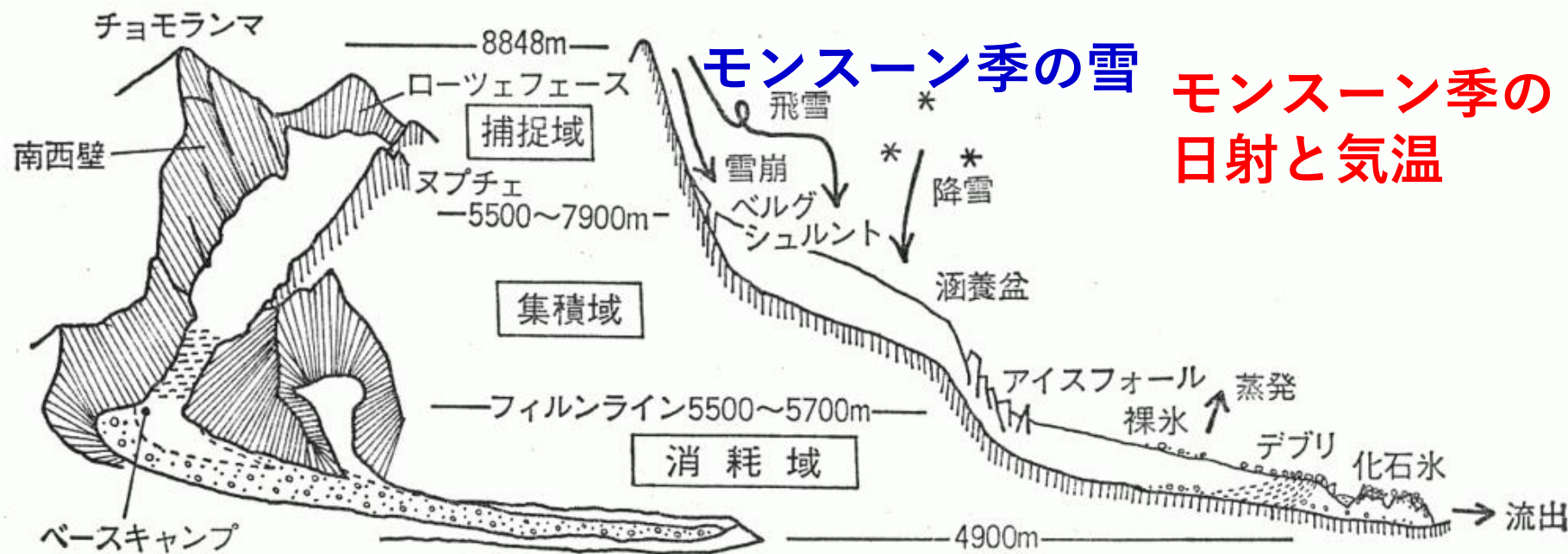


図 9.10 クンブ地域クンブ氷河の形態（左）と涵養・消耗機構（右）の模式図

GEN (Glaciological Expedition of Nepal) 1974~78 私の博士課程の3年間はGENがすべてだった

エベレスト山麓のハージュン氷河気象観測所(4,420m)には、
延べ1年以上(1974.08~75.02; 1976.05~76.10)以上滞在した



夜と昼で大きく違う
雲・降水現象

(Ageta, 1976)

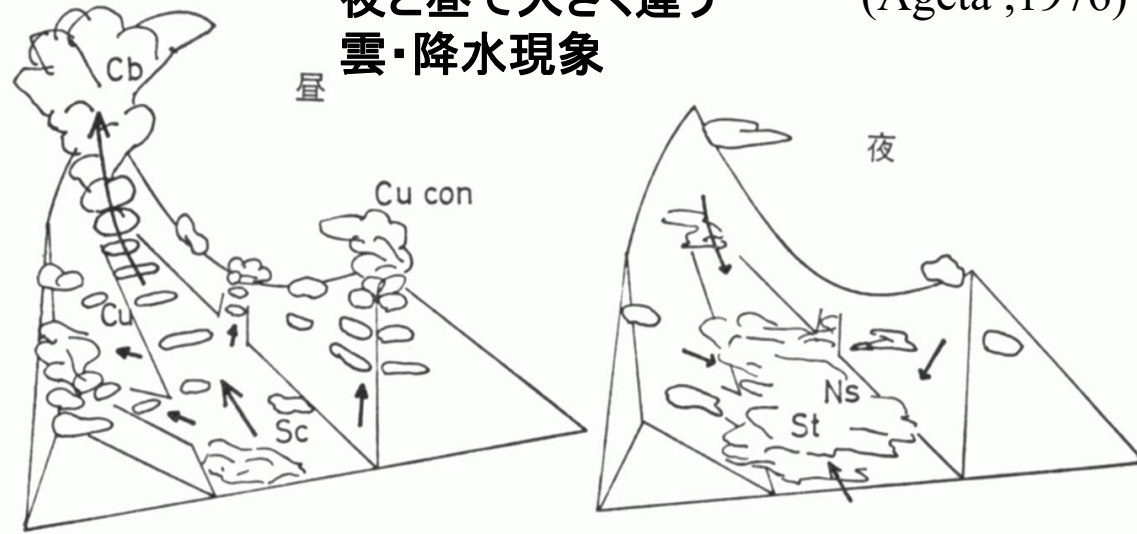
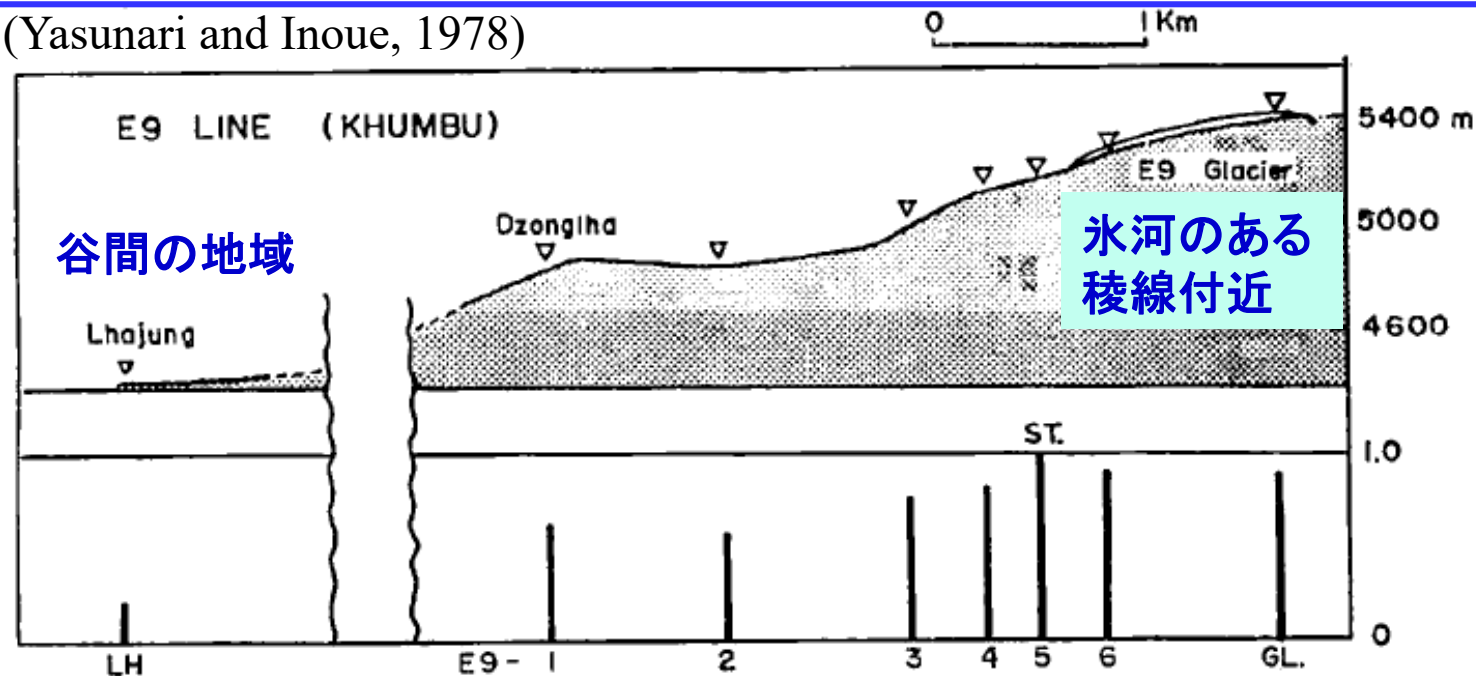


図 5.8 モンスーン季のヒマラヤ高地における局地循環と雲分布の日変化の模式図。
(上田, 1976)

モンスーンが維持する氷河

4年間にわたる通年観測の結果、
モンスーン季のヒマラヤでは、氷河のある5000m以上で、谷間の4～5倍の降水量が、雪として降っていることなどが、明らかになった。
⇒氷河の形成・維持に重要な条件

(Yasunari and Inoue, 1978)



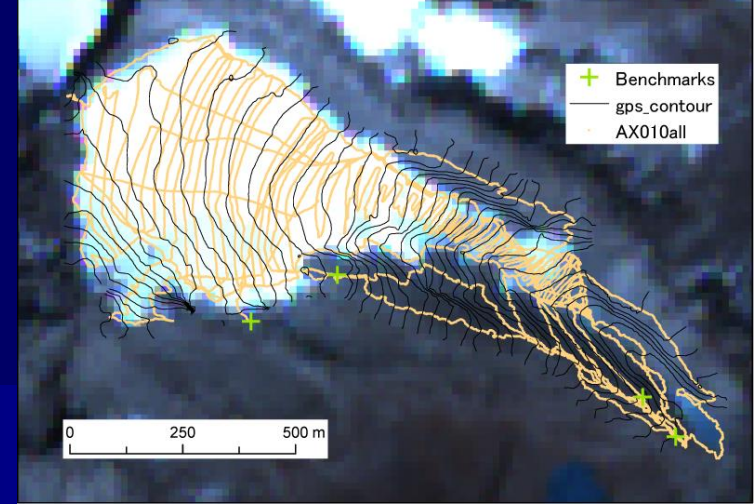
1978



Glacier AX010

East

Nepal



以来、ネパールの氷河観測は現在に至るまで名大グループにより継続され、
「地球温暖化」に伴う氷河の大後退が確認されている。

上田豊教授、藤田耕史教授(いずれも京大山岳部出身者)がリード



1998



2008

Changes
from 1978
to 2008

By courtesy
of Dr. K.Fujita



1974



2007

博士課程の3年間はヒマラヤ漬けで、論文も何も書いていなかったが、幸い京大東南アジア研究センター（現在、東南アジア地域地域研究所）に助手として拾われた。

東南アジア研究センターでの5年

—地域研究 v s 専門的研究(discipline)—

- 高谷好一教授（京大山岳部OB,探検部創設者の1人）との出会い

「我がセンターは地域研究をやるところで、discipline（専門的研究）をやるところではない。ここでもしノーベル賞取るような学者がいたら、即刻 出て行ってもらいます。」

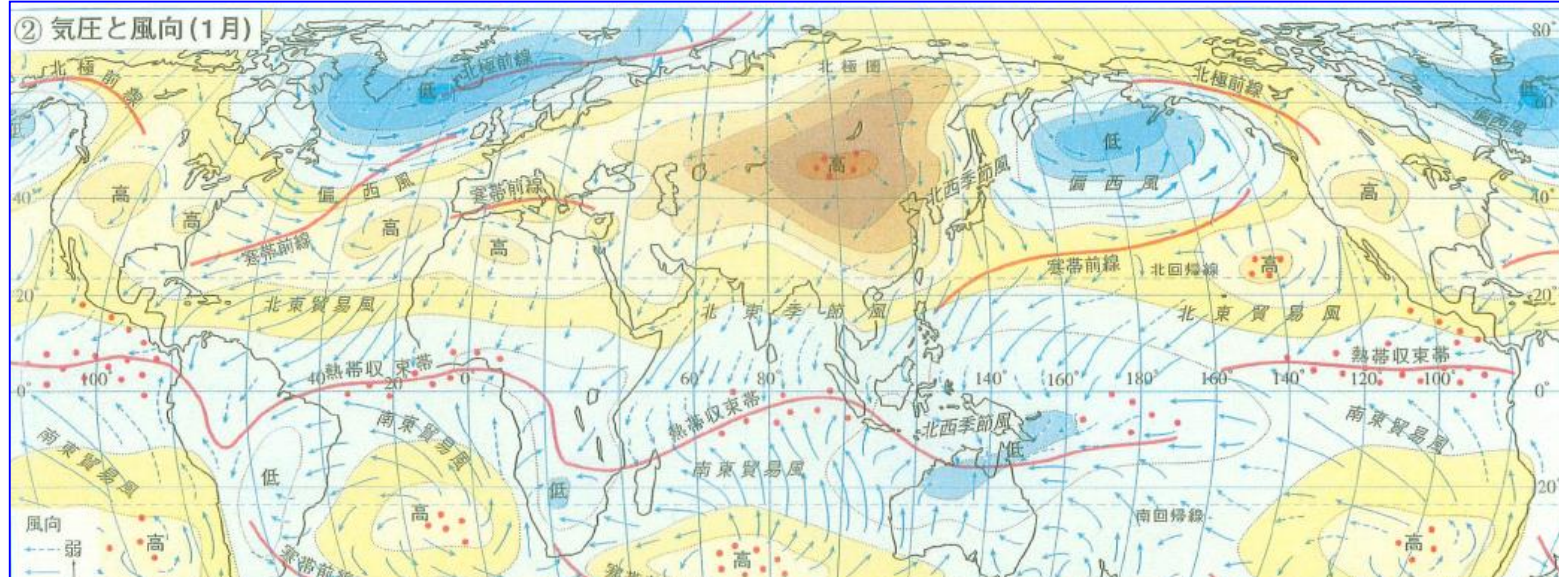
「安成君は学会賞もらうような研究しとるようやから、ここにはおらんほうがええ。学位を取ったら、さっさと出て行くこっちゃな。」

（『地域研究』は地域を歩き回ってしか、できない。）

「雑用は教授に任しといらええ。君ら（助手）は研究をしとったらええんや。」

- アジアモンスーン気候の研究を学位論文としてまとめつつ、ネパール・東南アジア等の気候研究も細々で行った。

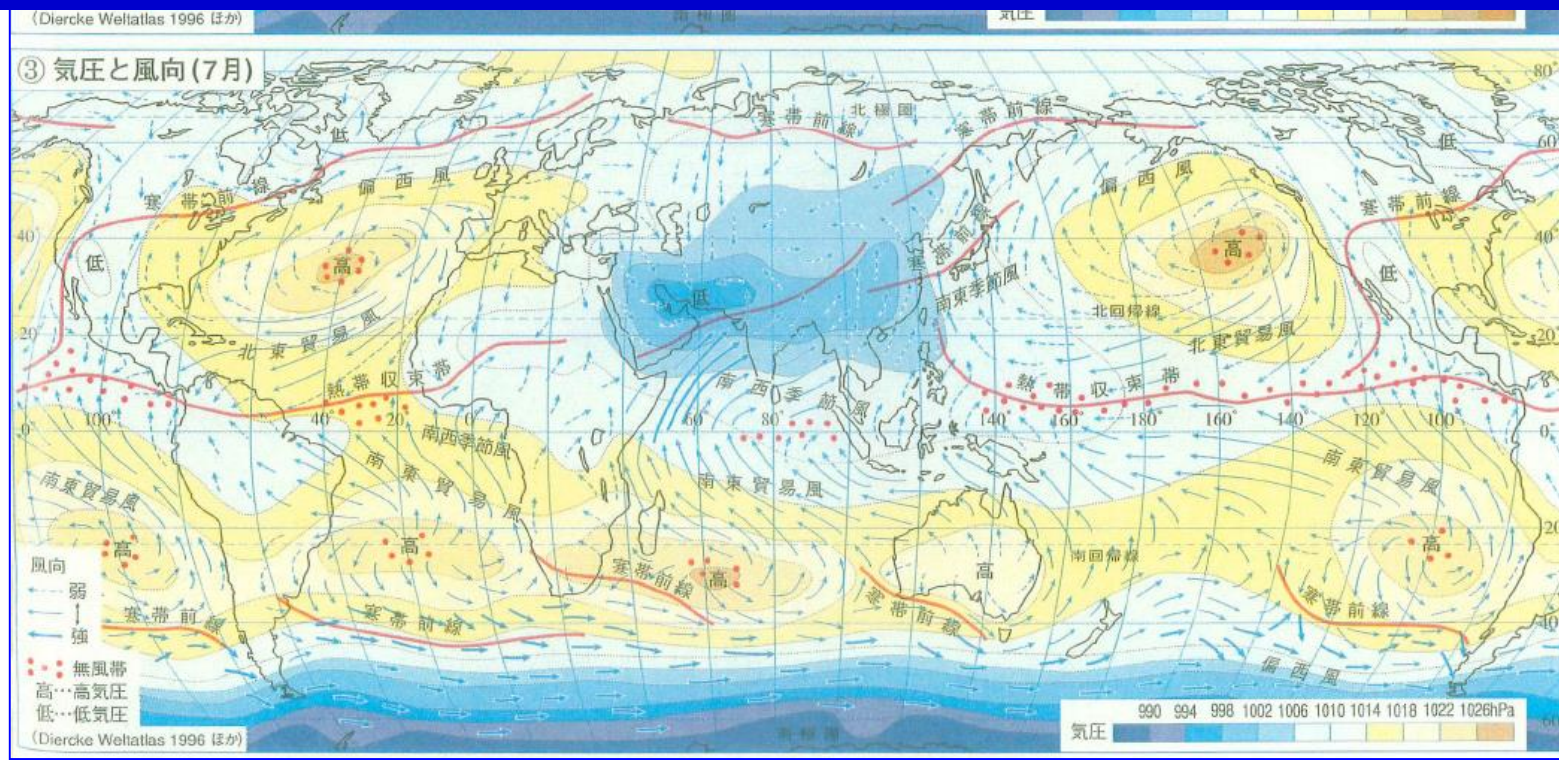
（東南アジア研の人たちとの交流の中で、気候はその地域の生物や人の生活と関係させて意味が深まることを学んだ）



1月

気圧と風系の分布

アジアモンスーンは地球気候における最も顕著で巨大な季節変化の現象である。



7月

二宮書店
現代地図帳
2005—2005

ヒマラヤからユーラシア大陸、そして地球へ

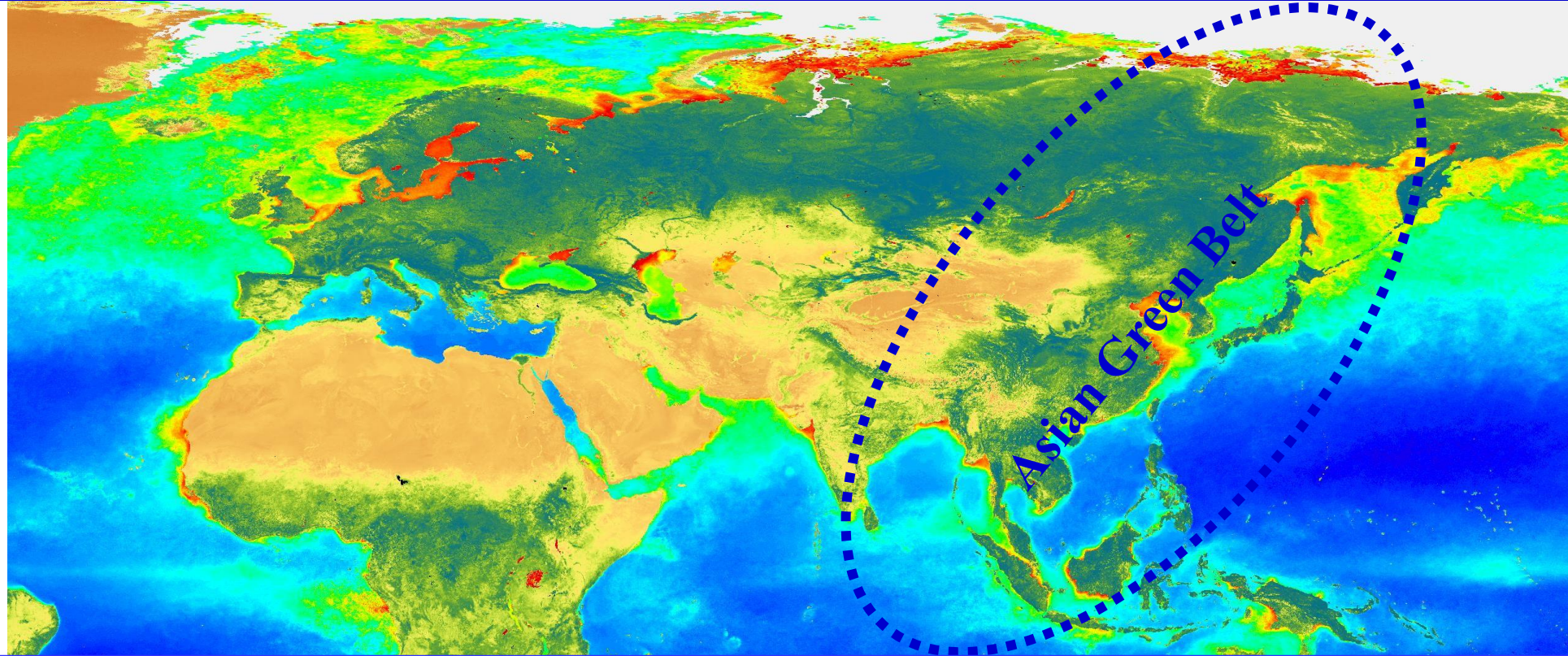
(京大東南アジア研究センター、筑波大学、名古屋大学、JAMSTECそして地球研)

1978-1982,

1982-2002, 2002-2013, 1998-2012, 2013-

- ・ 大気・海洋・大陸相互作用としてのモンスーン気候とその変動
- ・ ヒマラヤ・チベット高原が地球気候に果たす役割
- ・ 気候と生態系の相互作用
- ・ 人間活動が気候・生態系に与えている影響⇒Future Earth へ

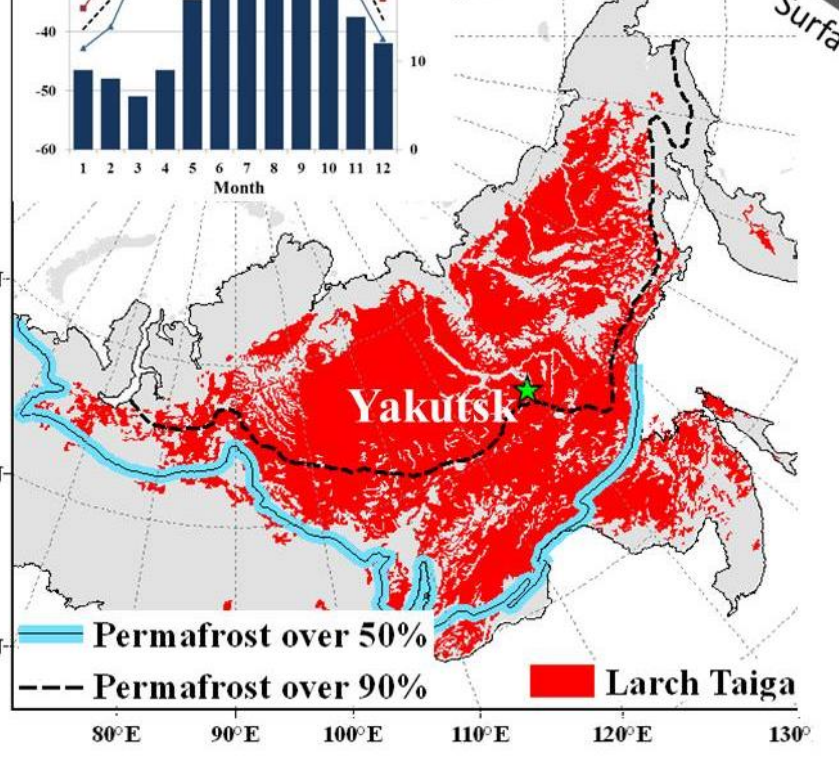
モンスーン気候と植生・水循環の関係を明らかにする
国際プロジェクトGAME(1996～2002)を立ち上げた
熱帯から寒帯まで、湿潤アジアから乾燥アジア、チベット高原まで



GAME: GEWEX Asian Monsoon Experiment

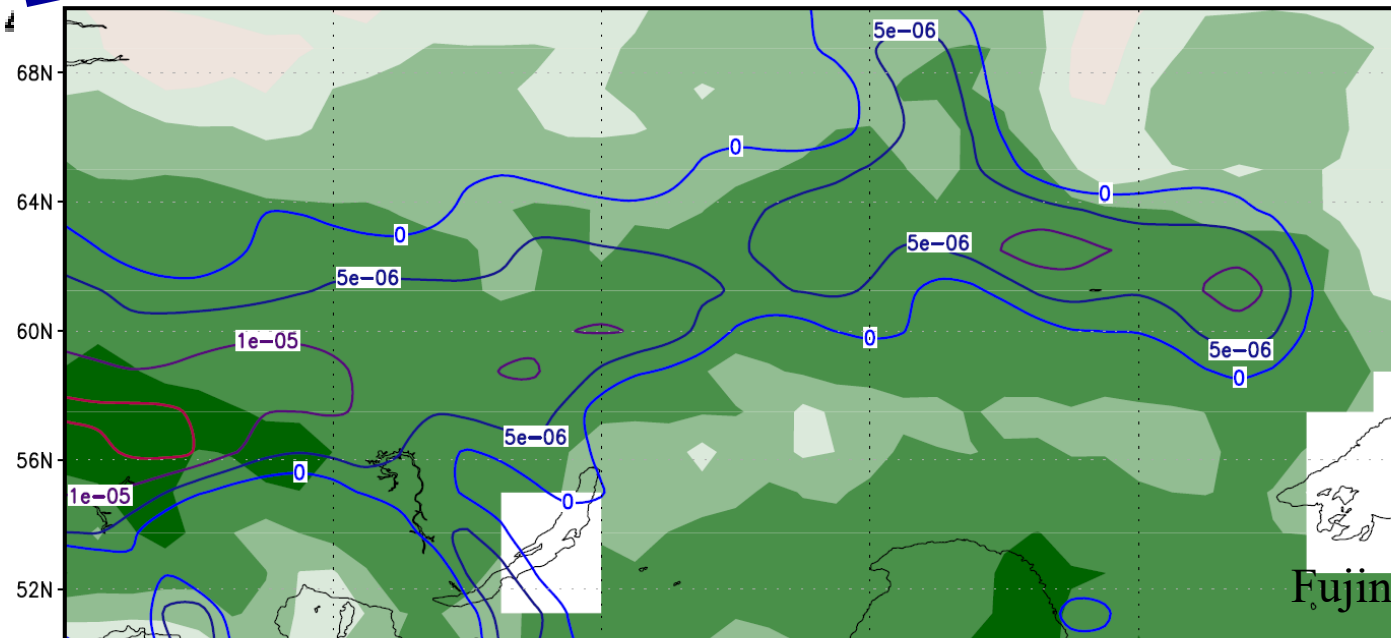
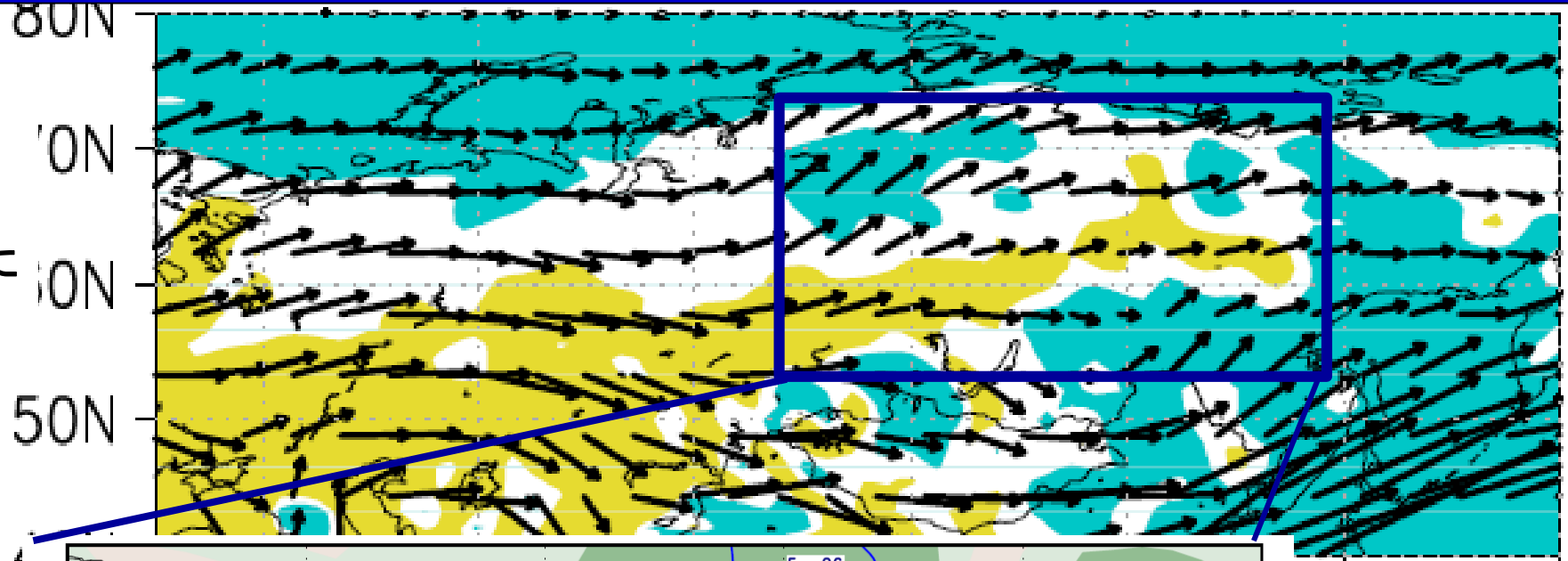
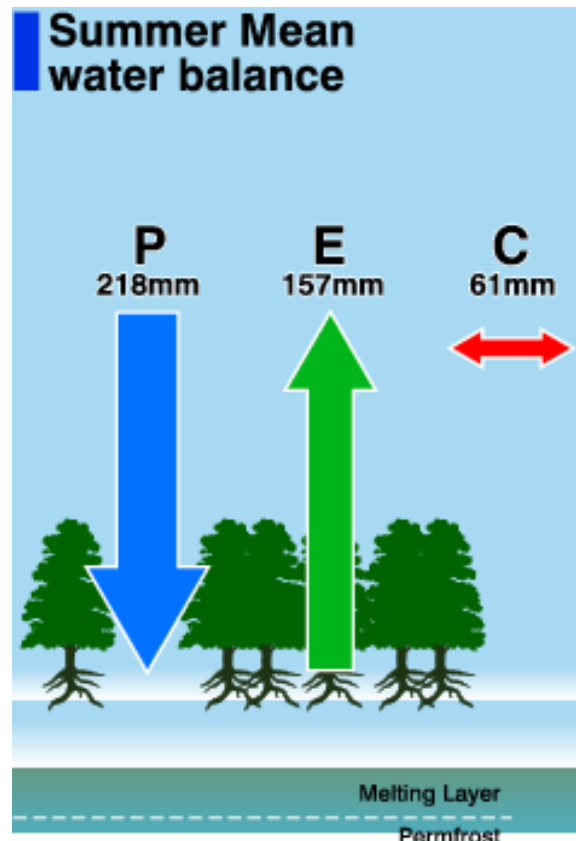
<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/IMAGES/>

GAMEシベリア計画(代表: 福嶋義宏名大教授, AACK)
シベリア・レナ川流域の亜寒帯林(タイガ)
・凍土地帯の気候・生態系・水循環研究



タイガ(亜寒帯林)は、光合成活動に伴う蒸散を通して大気へ水蒸気を供給 ⇒水蒸気は雲を形成し、降水となって水をタイガに供給(水の再循環)

夏の降水量の大部分は
タイガからの蒸発散量で
賄われていることが明らか
になった。



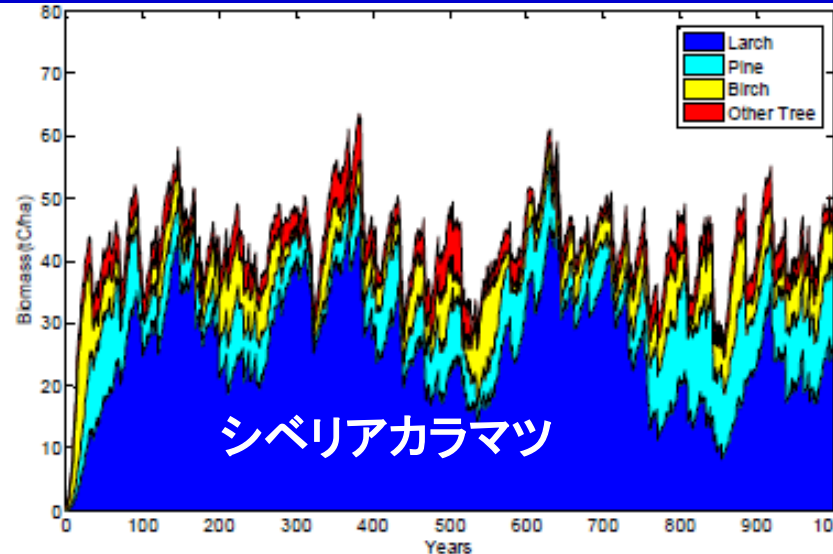
緑色：
NDVI (光合成量)
青線：
水蒸気源
(蒸発散－降水)

Fujinami, Yasunari et al. (2009)

観測結果にもとづくシベリアの寒帯林・凍土生態系の再現 (1000年間のシミュレーション)

永久凍土あり

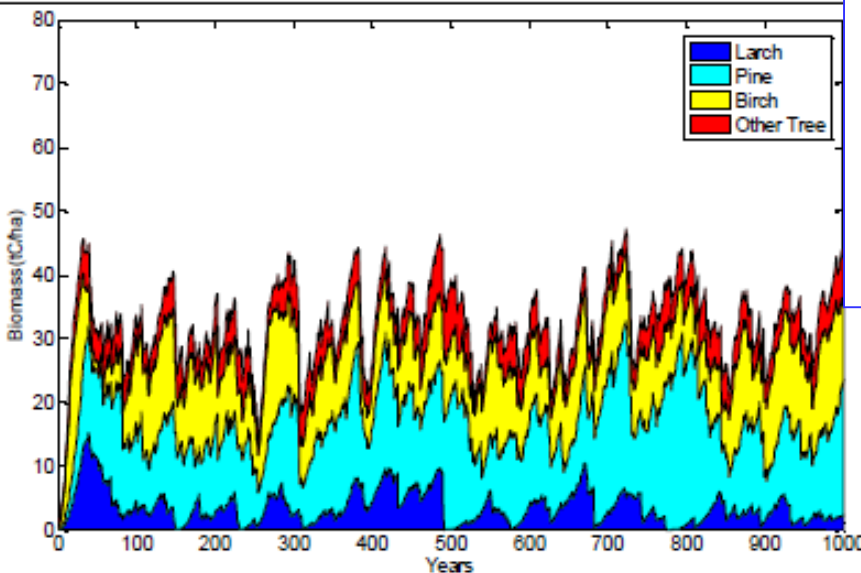
バイオマス量



a. Control Run (CNTL)

永久凍土なし

バイオマス量



c. No Permafrost Run (NP)

(Zhang, Yasunari & Ohta, Env.Res.Lett.2011)

シベリアにおける
永久凍土と寒帯林（タイガ）は、
一体となった地・生態系である

寒帯林の存在には、永久凍土が必要

永久凍土は寒帯林により維持され
ている

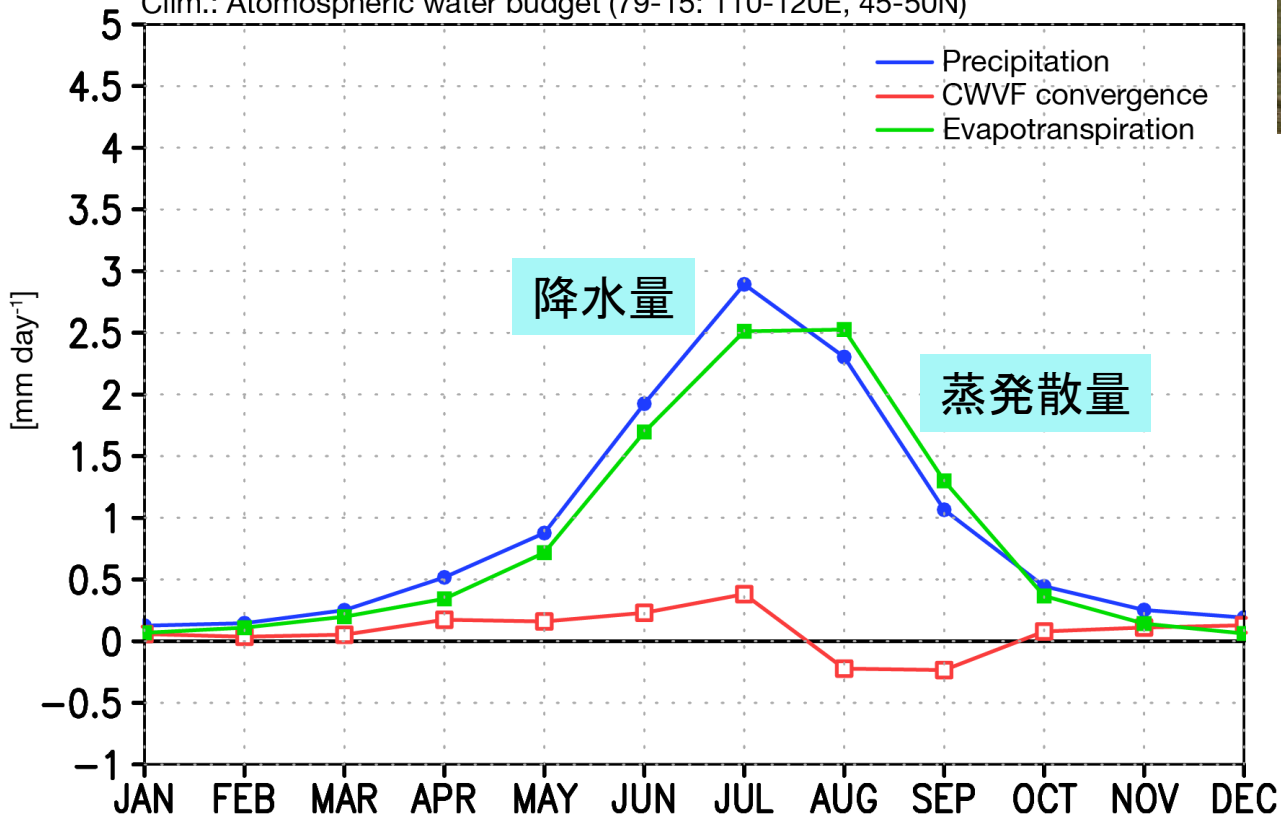


モンゴル草原生態系と水循環

Mongolian Grassland as an Eco-climate System



Clim.: Atmospheric water budget (79-15: 110-120E, 45-50N)



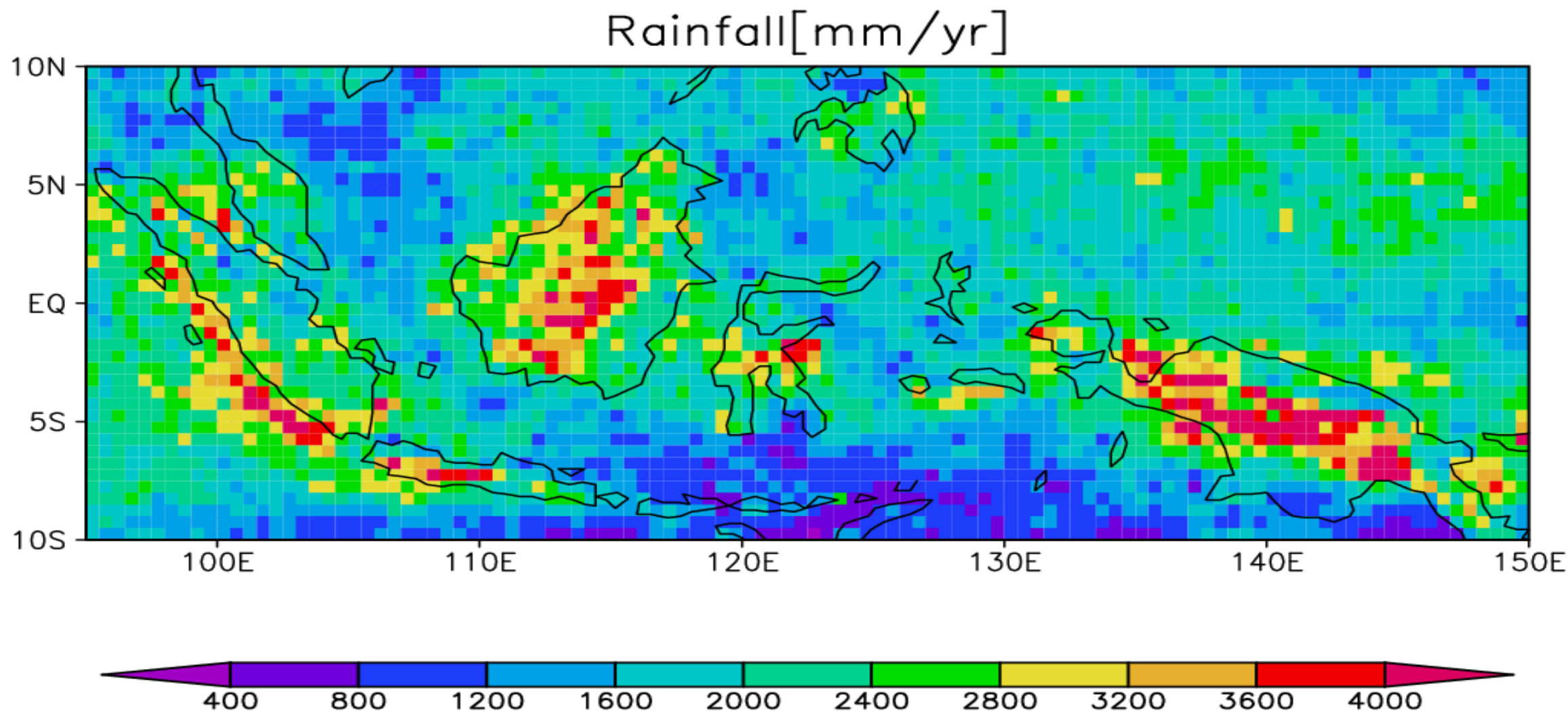
夏の水収支:

降水量 ~ 蒸発散量

即ち、
草原自らが水を再循環
させている

暖かい海洋上より熱帯雨林のあるボルネオやニューギニアの陸上に雨が集中している

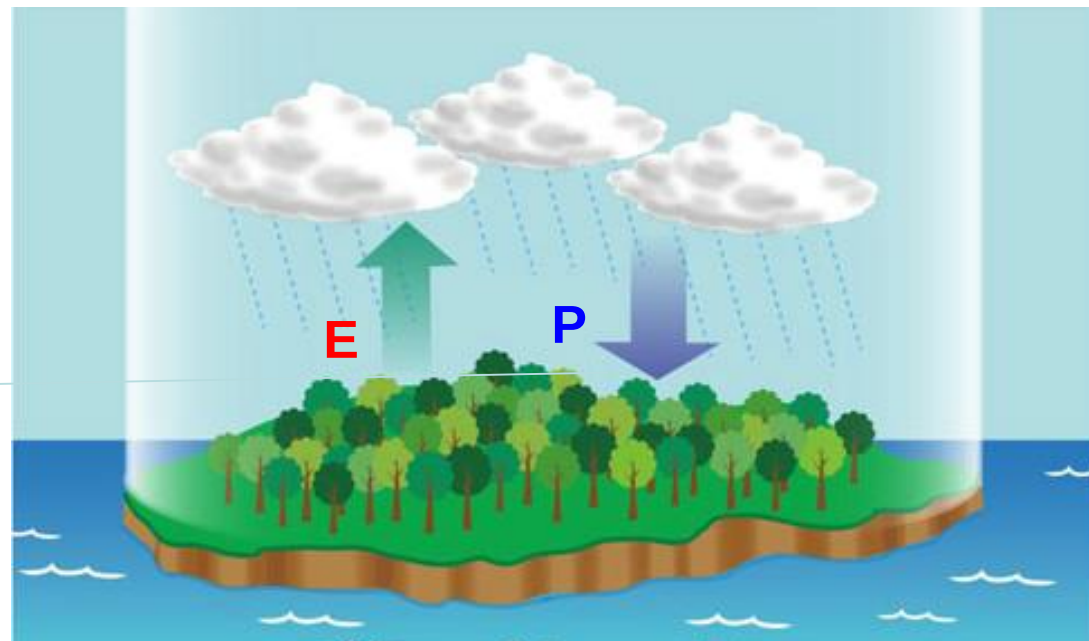
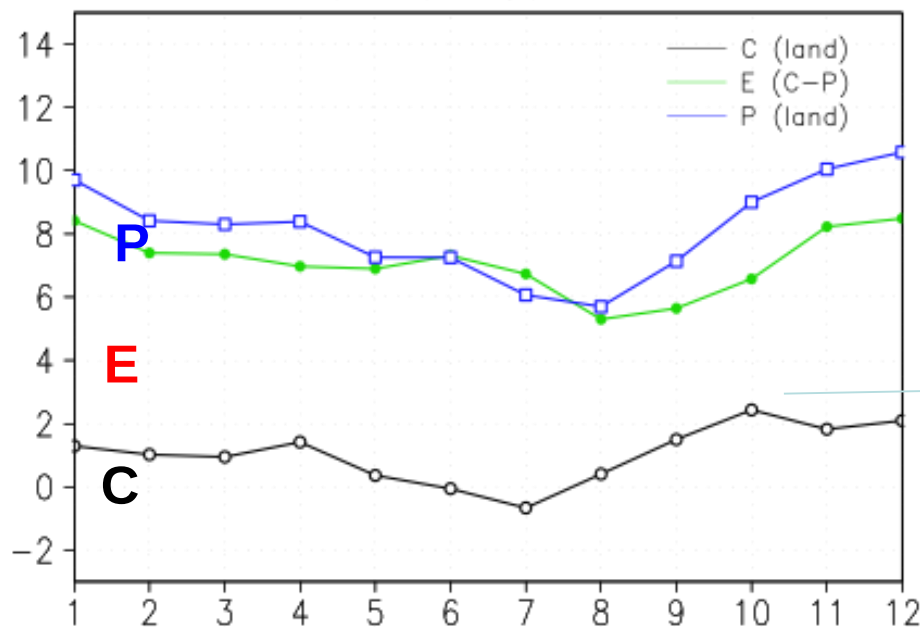
熱帯降雨観測衛星 (TRMM) で初めて明らかにされた海洋大陸の降水量分布



ボルネオ島とその周辺の海洋上での 大気水収支の季節変化

(島上: $E/P \sim 80\%$,
 $C-P-E$ (mm/day): 98-08 Land

海洋上: $\sim 65\%$)



ここでも、島での降雨量の80%は、熱帯林からの蒸発散を通した水の再循環で成り立っていることがわかった

P: Precipitation (TRMM-PR)

C: Moisture Convergence (JRA-25)

E: Evapotranspiration (P-C)

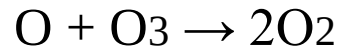
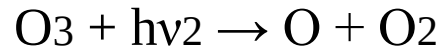
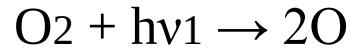
フィールド観測・人工衛星からの観測に
数値モデル研究を加え、
寒帯から熱帯まで広域の
植生と気候が水循環を通して
ひとつの相互作用系となっている
ことが明らかになってきた

地球気候システムの維持における 生命圏の重要な役割

太陽エネルギー

紫外線

$h\nu$



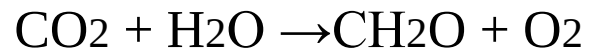
オゾン層(成層圏)
の維持・形成

生命圏の維持に必要な環境と
地球表層の構造(水の保存、
オゾン層など)は生命圏自らが
創り出している

cold trap

O_2

可視光



光合成

水循環

対流圏

H_2O

大気圏・水圏・生命圏の共進化

(物理・化学的)環境は生命圏を変えるが、生命圏も環境も変える

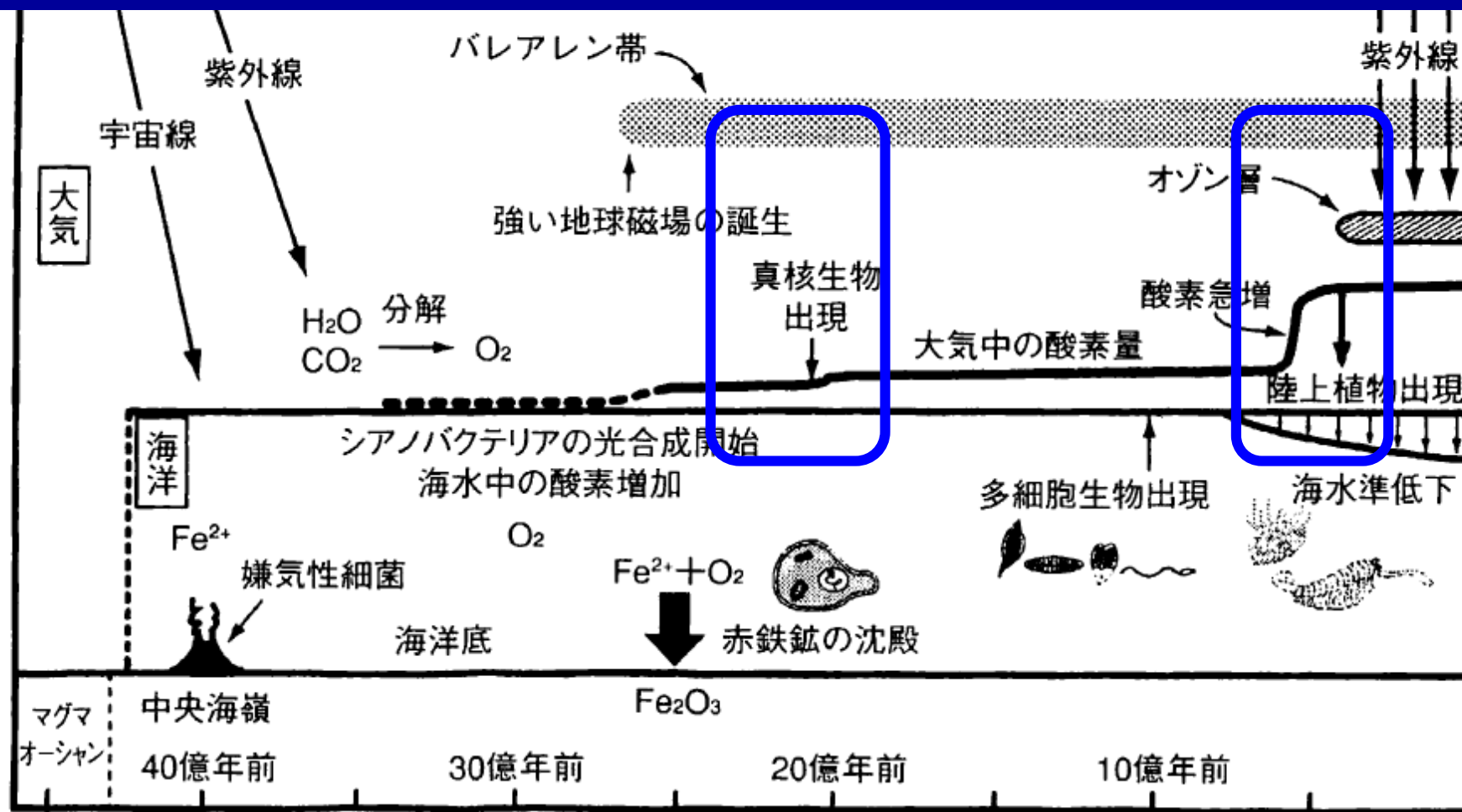
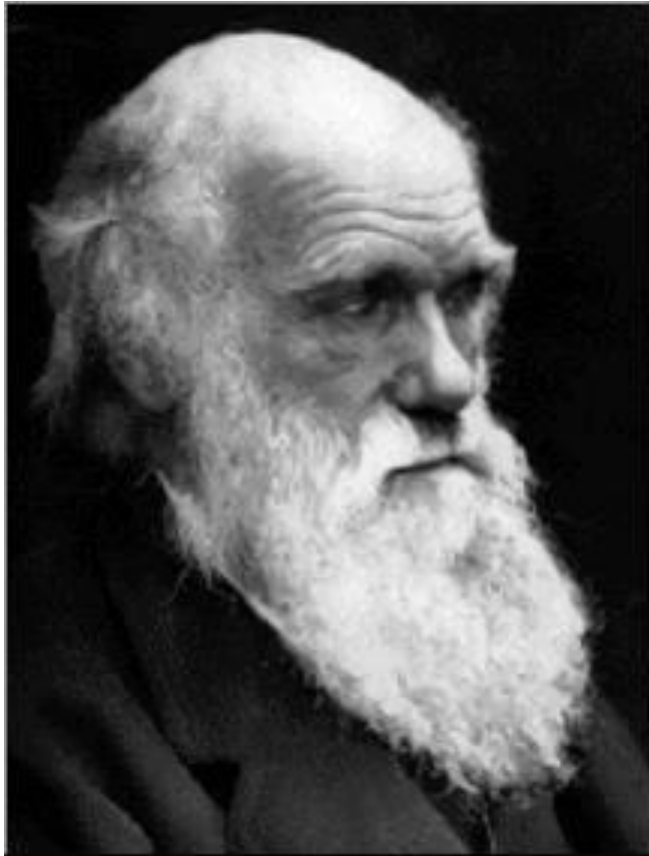


図 14.9 地球の表層環境の変化と生命の進化. (磯崎行雄・山本明彦『科学 第68巻 第10号』岩波書店, 1998)



Charles Darwin
British Naturalist
1809 -1882

I have called this principle, by which each slight variation, if useful, is preserved, by the term Natural Selection.

—Charles Darwin
from “The Origin of Species”

しかし、生物圏そのものが環境をコントロールしている、あるいは密接な相互作用をしているという事実は、環境圧の下で自然選択や適応の結果、生物が進化するというダーウィンの進化論の修正を迫っているのではないか？！

今西錦司 Kinji Imanishi (1902-1992)



今西錦司は、
生物と環境は一体である
という見方を、約80年前に、
すでに出していた！

<http://www.geocities.co.jp/NatureLand/4270/imanishi/>

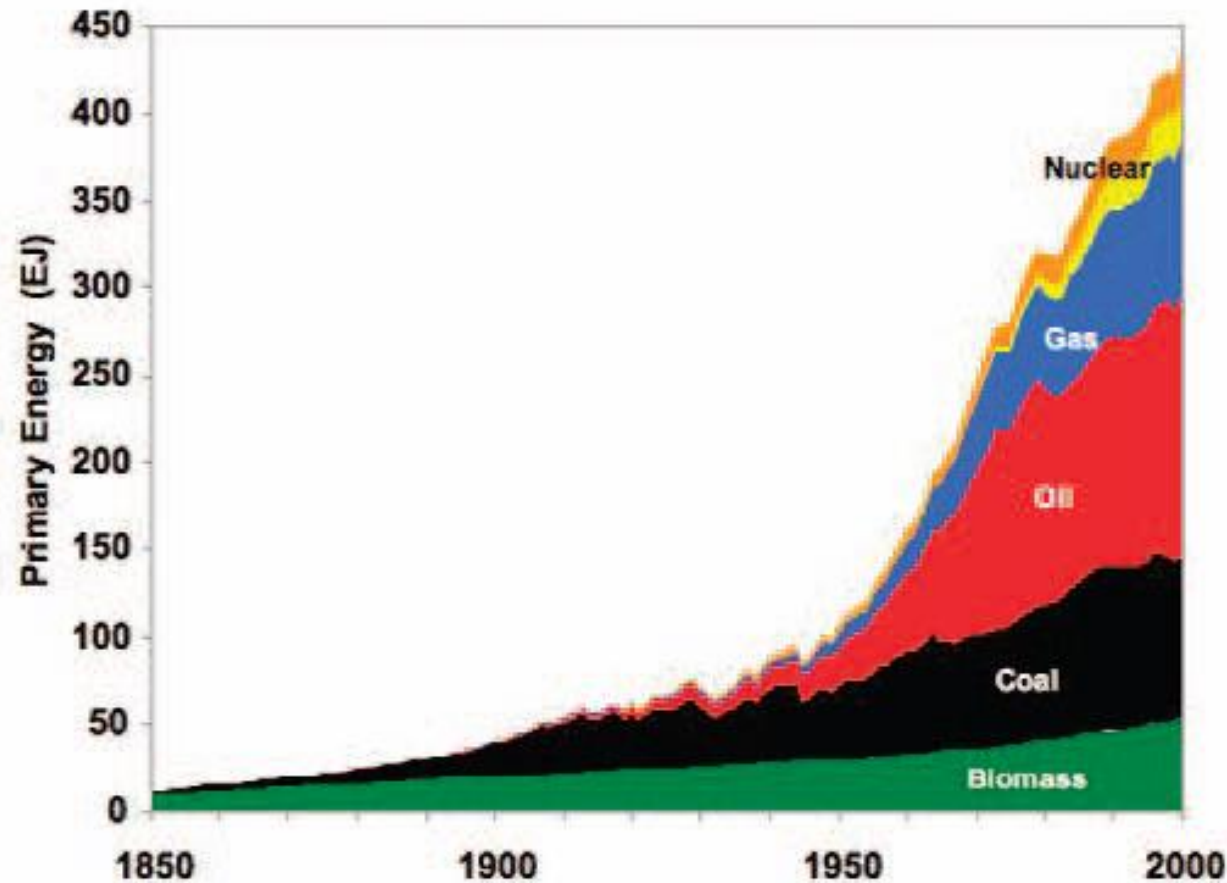
今西錦司 『生物の世界』 1941

- 生物はそれ自身で完結された独立体系ではなくて、環境をも包括した一つの体系を考えることによって、はじめてそこに生物というものの具体的な存在のあり方が理解されるような存在である。
- 環境といえどもやはり生物とともに、もとは一つのものから生成発展してきたこの世界の一部であり、その意味において生物と環境とはもともと同質のものでなければならぬ。
- たえず環境に働きかけ、環境をみずからの支配下におこうとして努力しているものが生物なのである。

ただ、今西の理論が、生命圏のどのような具体的なプロセスに基づいて出されたかは不十分なままであった。

私たちのアジア、ユーラシア大陸におけるフィールドや衛星観測・調査にもとづく気候・生態系相互作用の実態解明は、今西進化論の正しさを実証しつつある。

Rapid increase of energy since around 1950
⇒ Anthropocene (人類世/ 人新世)
[人類活動の影響が極めて顕著になった地質時代]



過去40万年、現在、
および21世紀末における
大気のCO₂濃度(予測)

人類活動による CO₂濃
度の増加は、地球生命
圏への外力以外の
なにものでもない！

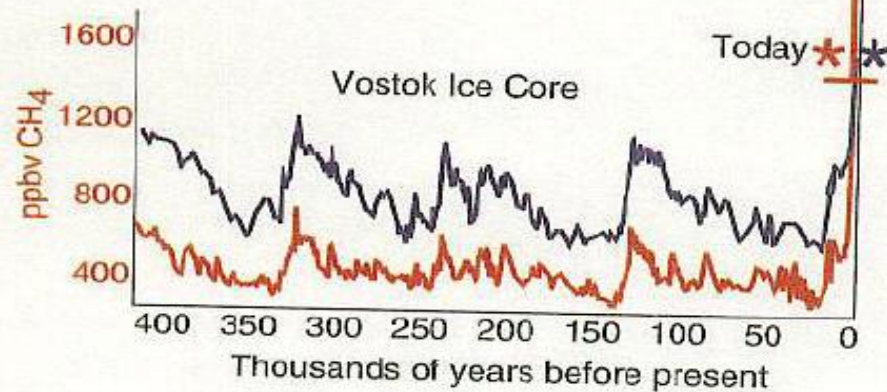


Fig. 18.1. Atmospheric concentrations of the greenhouse gases CO₂ and CH₄ over the last four glacial-interglacial cycles from the Vostok ice core record. The present-day values and estimates for the year 2100 are also shown (data from the World Data Center for Paleoclimatology and IPCC)

しかし、
このような地球や
生命圏の実態や仕組みを
理解しつつあるのも、
(今のところ)
人間しかいない。
⇒地球における人間の責任？

これまで（完新世）の地球環境を維持してきたいくつかの要素
は
すでに地球システムの動的平衡を崩すレベルに達している？



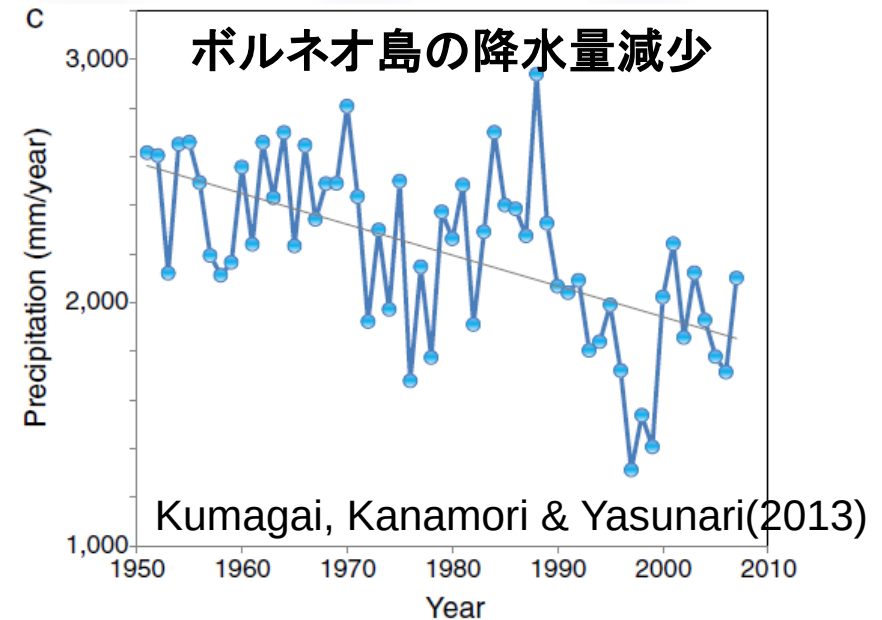
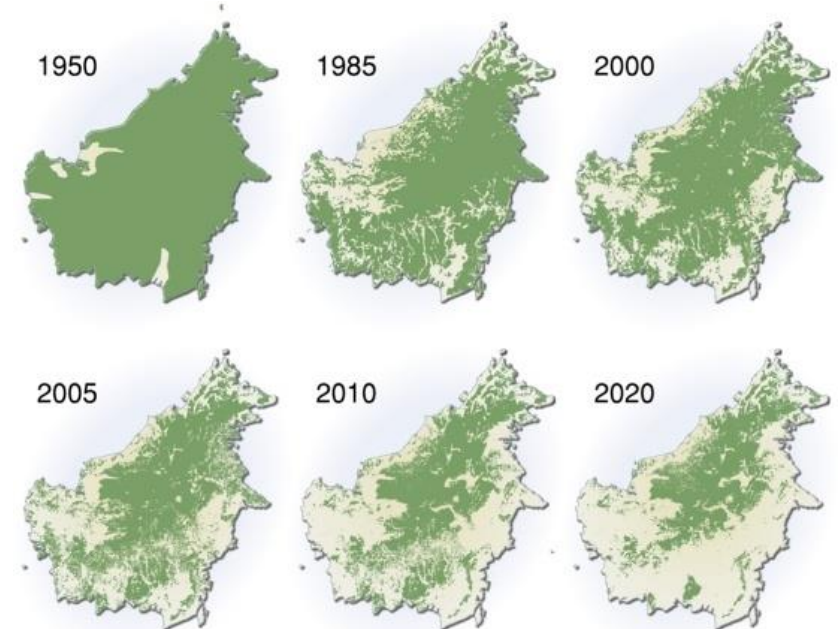
(例1) 東南アジアの熱帯林破壊における気候—水循環—生態系の連鎖的悪化



<http://maps.grida.no/region/geoasiap>

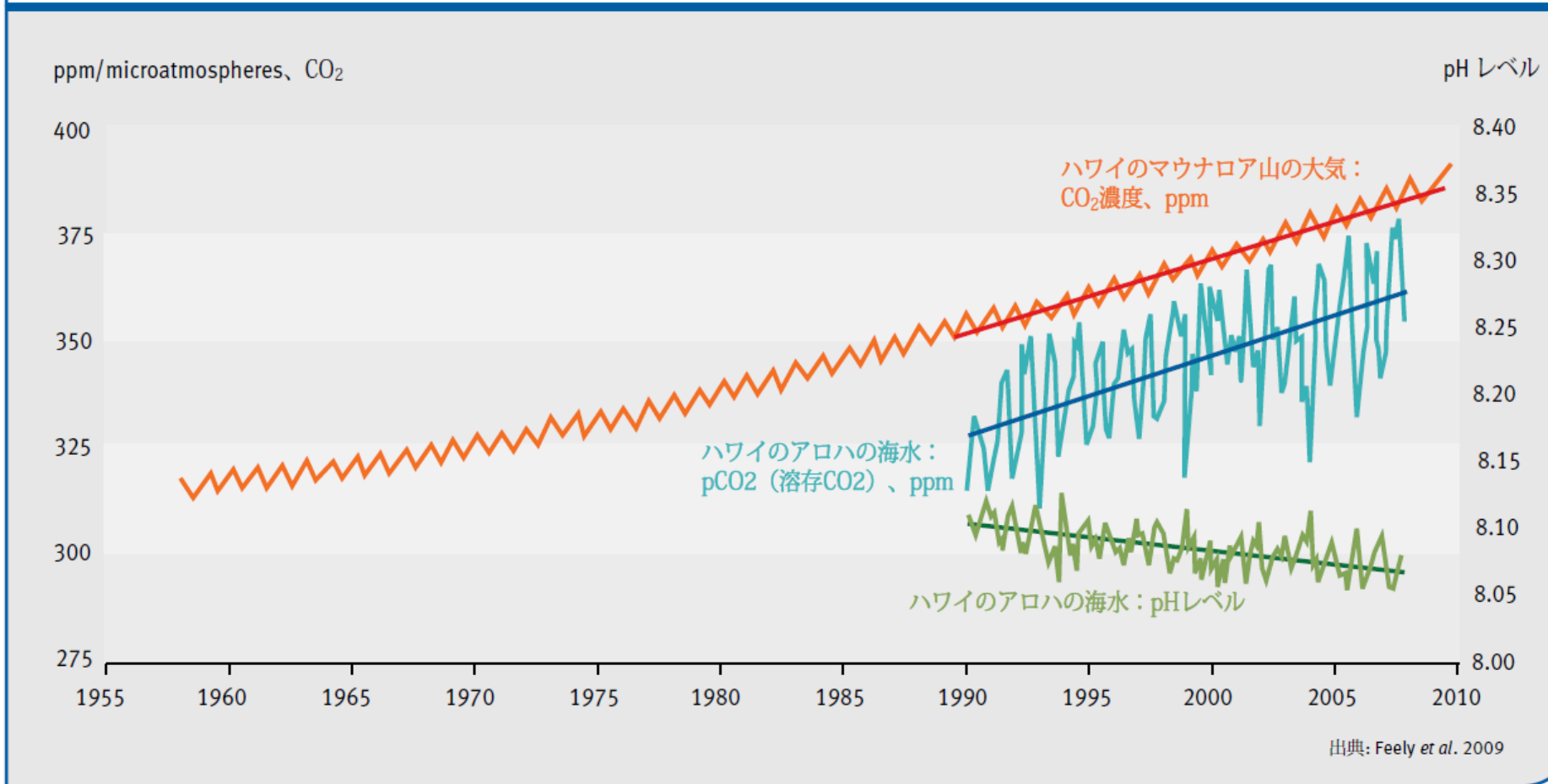
(森林破壊がもたらす
気候—水循環—生態系における負の連鎖)
熱帯林破壊⇒水循環変化⇒降水量減少
⇒森林生態系の劣化・破壊の更なる進行

南米・アフリカの熱帯雨林地域でも
同様の負の連鎖が指摘されている



(例2) 大気のCO₂増加に伴う海洋表層・生態系の連鎖的悪化の可能性

図 4.17 北太平洋におけるCO₂濃度と海洋の酸性化、1960～2010年



大気CO₂濃度の増加⇒海洋表層の溶存CO₂増加⇒海洋表層の酸性化
⇒サンゴ礁破壊⇒海洋生態系の悪化

Future Earth



地球が人類とすべての生命にとって
母なる惑星であり続けるかどうかは
ひとえに私たち人類が、現在だけでなく
将来生まれ来る生命のことを
思いやれるかどうかにかかっている。



Future Earthの国際的な組織連合

各国の研究資金機関

BELMONT
FORUM
(+IGFA)

科学者組織

2つの国際的な
科学者 ⇒ ISC
社会科学者組織

ISSC
international social science council

 UNITED NATION
UNIVERSITY


United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

futureearth
research for global sustainability

STS Science
and Technology
in Society forum

日本が主宰する国際フォーラム

国連組織

国連環境計画(UNEP)
UNESCO、
国連大学、
世界気象機関、SDSN



SUSTAINABLE DEVELOPMENT
SOLUTIONS NETWORK
A GLOBAL INITIATIVE FOR THE UNITED NATIONS

NGO

<http://www.futureearth.org/>

futureearth

Future Earthとは何か？

- **科学の統合 Inter-disciplinary research**
(自然科学・人文社会科学・工農医学の連携・融合)
- **社会との智の共創と共有 Trans-disciplinary research**
(社会の様々なステークホルダーとの超学際的連携・協働)

を通して

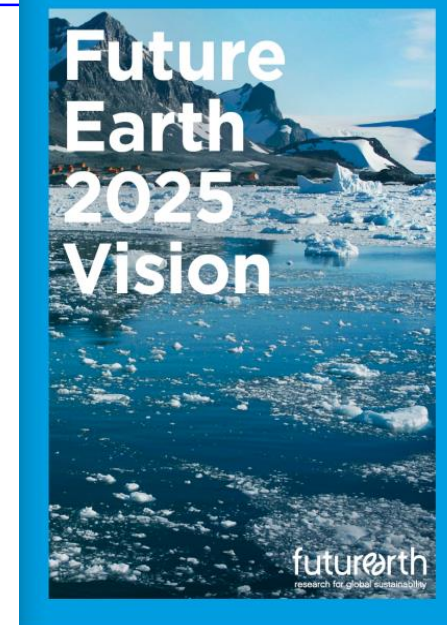
- 地球環境変化のリスクを回避・軽減するための智を提供
- 持続可能な地球社会への転換を促進



新しい価値にもとづいて持続可能(未来可能)な地球社会をデザイン
人類世(人新世)における新しい科学の創成

Future Earthが取り組むべき 8つの大きな課題 (eight challenges)

1. すべての人に水、エネルギー、食料を提供
2. 脱炭素化し、気候を安定化
3. 陸上・淡水・海洋資源を保護
4. 健全で生産的な都市を構築、災害に強いサービスとインフラを提供
5. 持続可能な農村開発を促進
6. 環境変化の下での人々の健康を保護
7. 公正で持続可能な消費と生産を促進
8. 社会的な回復力を高め、持続可能性への転換を促進できる制度を構築



パタゴニアから始まった私の地球学は、

- ・ 物理学が避けてきた
複雑系としての地球のトータルな理解を、
 - ・ 地球科学と生物学が避けてきた
生態系と環境との相互作用(生物と無生物のあいだ)の理解を、
 - ・ 人文・社会科学が避けてきた
変化する地球系と人間社会の連環のあり方の追究を
- 統合的に進めることにより、
生命と人間にとって、地球とは何か？
を、問いかけ続けることである。

月光に照らし出されるパタゴニアのHPS10氷河と氷河湖
1969. 3月

ご清聴ありがとうございました

