

地球はどこでも研究室

— 氷河から熱帯雨林、ヒマラヤから海中まで —



幸島司郎

京都大学 名誉教授
(野生動物研究センター)

これまでの研究（幸島研究室）

- 雪氷生物学

雪氷圏、特に氷河生態系の生態学

雪氷生物を利用したアイスコア解析

雪氷生物のアルベド改変効果

- 生態学・行動学（クジラ<-->ヒト<-->植物<-->微生物）

氷河：昆虫、ミジンコ、ミミズ、藻類、菌類、バクテリア

陸上：マメジカ、オランウータン、サイ、インコ、ヒト
オオカミ、ヤマアラシ、シベット、ゾウ、ドール

海洋：シャチ、イルカ、アザラシ、ウニ、オニヒトデ

河川：ネオンテトラ、セッケイカワゲラ、カワイルカ

植物：クスノキ、アカメガシワ、キリ、ヤブカラシ、ツタ

雪氷生物学



雪虫の研究から



クモガタガガンボ



セツケイカワゲラ

「不思議なことを見つけてきなさい」

(by 日高敏隆 先生)

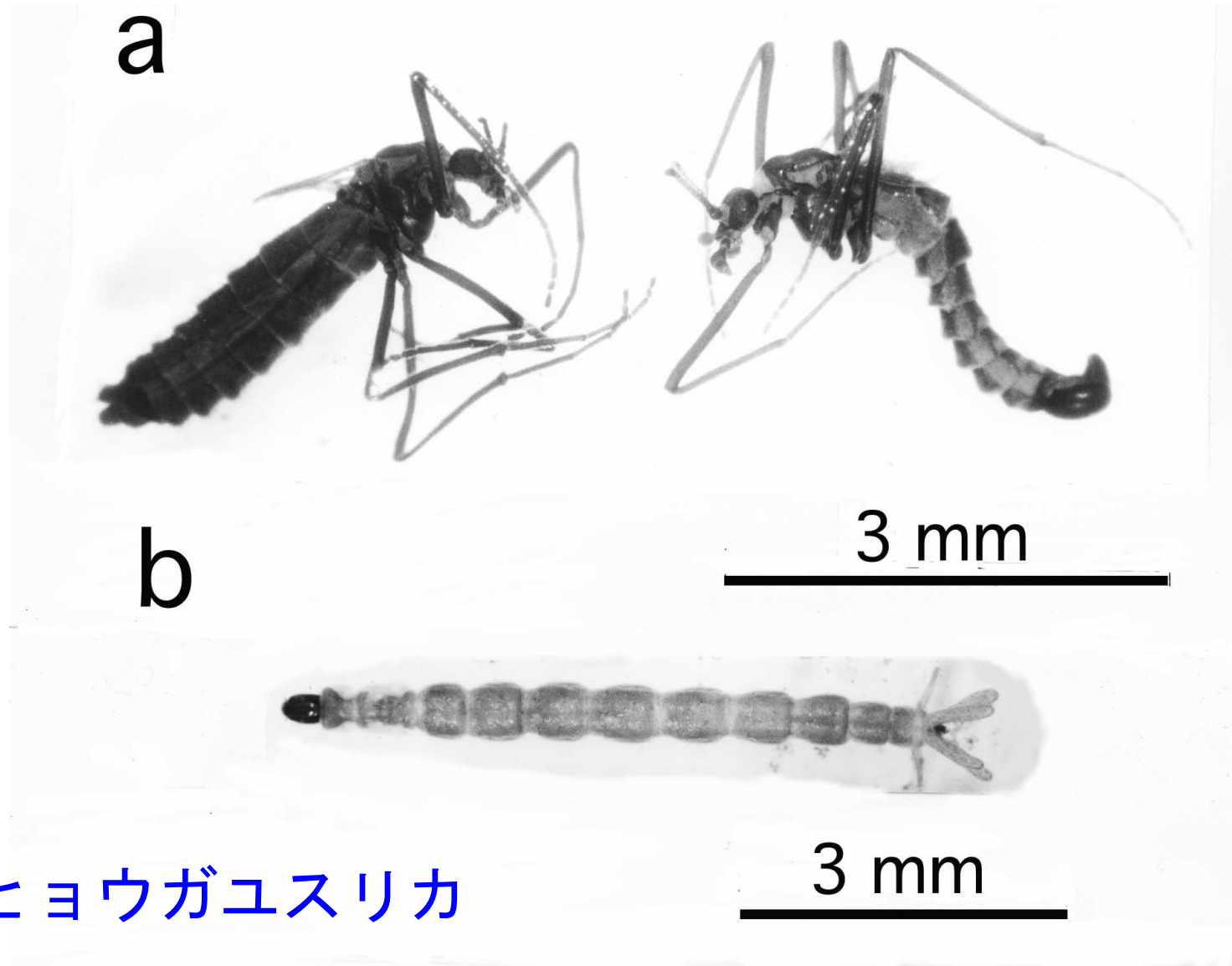


寒くないと生きられない虫がいる！

ヒマラヤの氷河生物



Diamesa kohshimai



ヒョウガユスリカ

Kohshima S. (1984) *Nature* Vol.310 pp.225-227

ヒョウガユスリカの幼虫

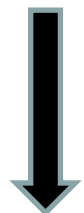


交尾

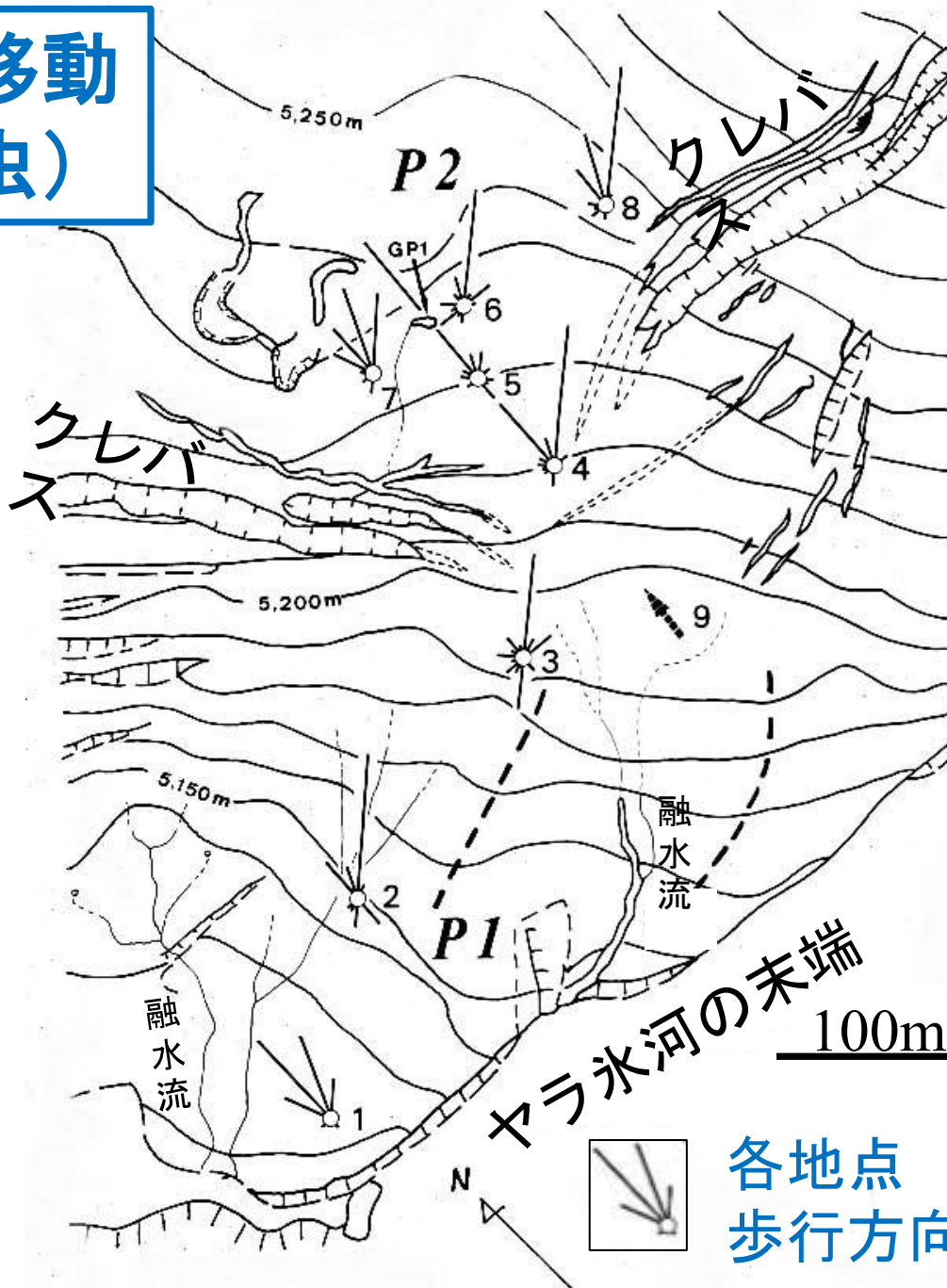




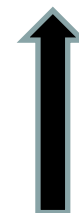
上流への移動 (メス成虫)



氷河流動

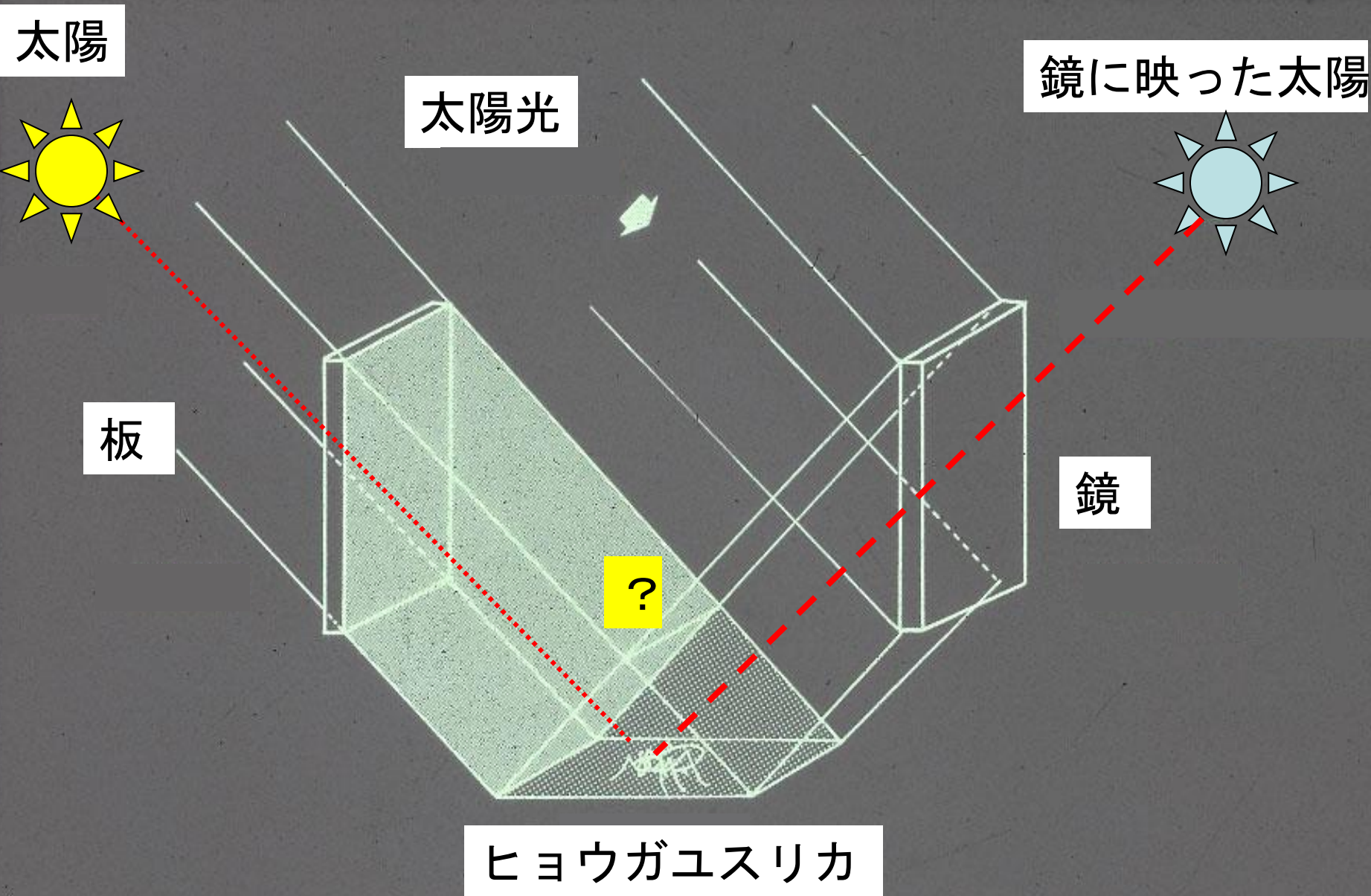


氷河上に定住
するための適応

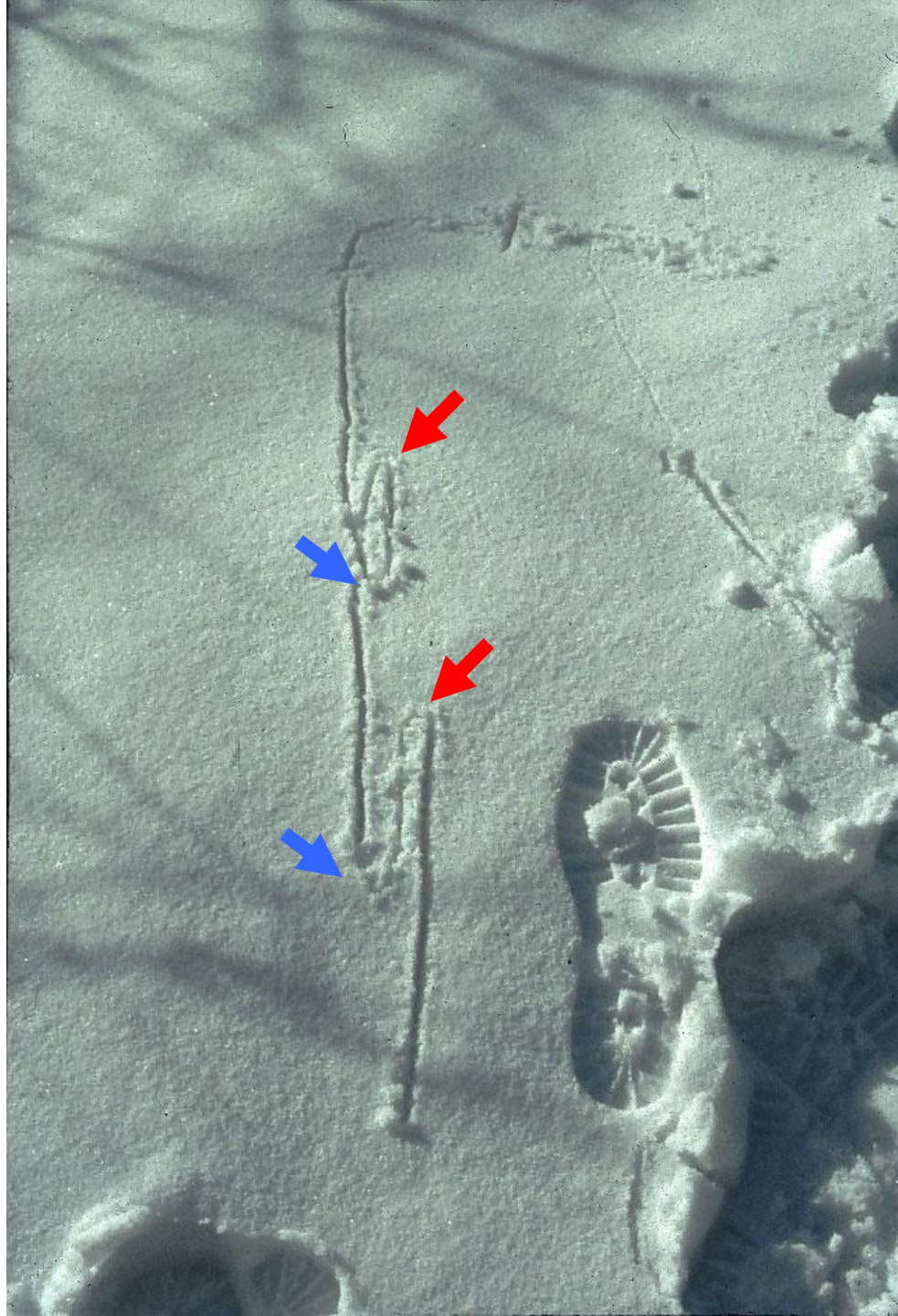


上流方向

各地点 (1-9)での
歩行方向の分布



太陽コンパスを使っている！



鏡像を見せる
操作開始

鏡像を見せる
操作解除

斜面方向を計測？



斜面最大傾斜方向の転換点（クレバス帯）

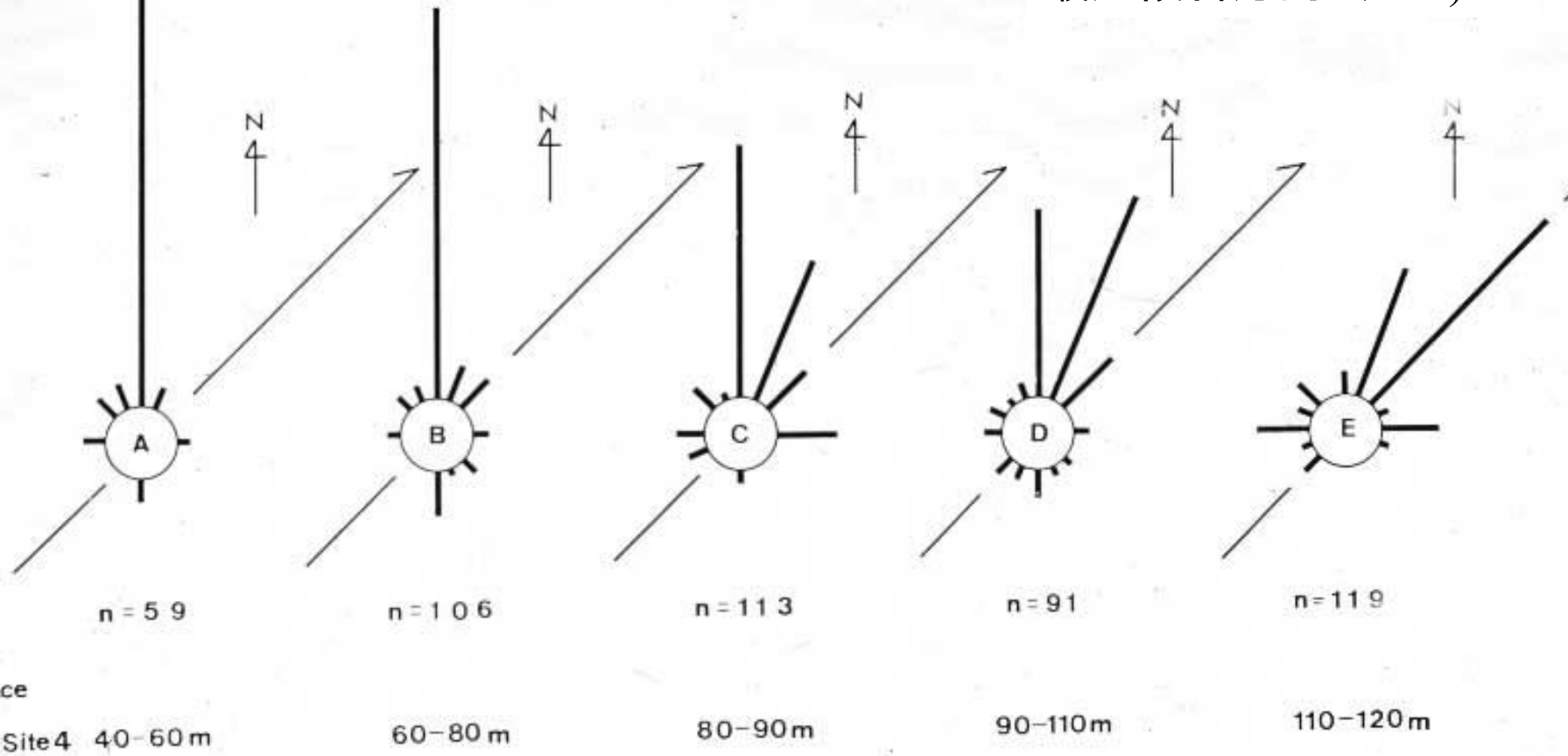
新しい斜面方向に移動方向を修正



これまで歩いてきた斜面の
最大傾斜方向 (N)



新しい斜面の
最大傾斜方向 (NW)

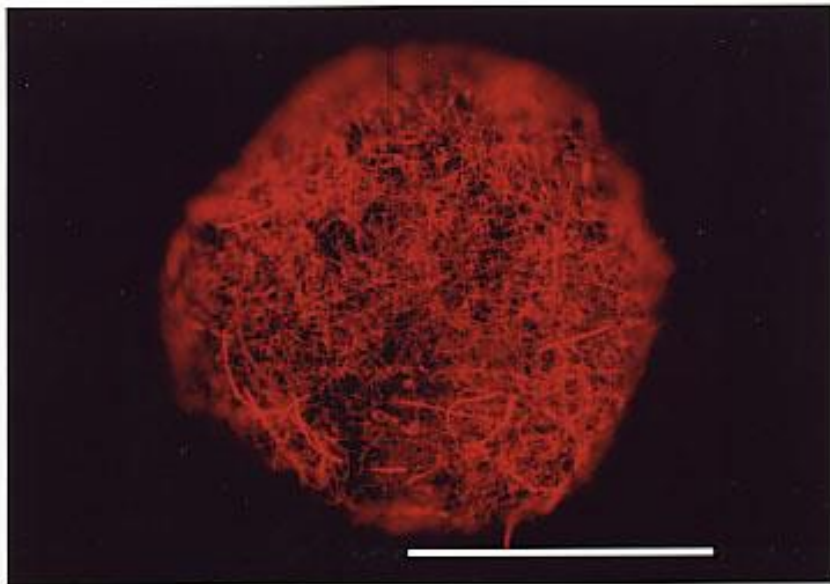


クレバス帯（斜面変換点）からの距離

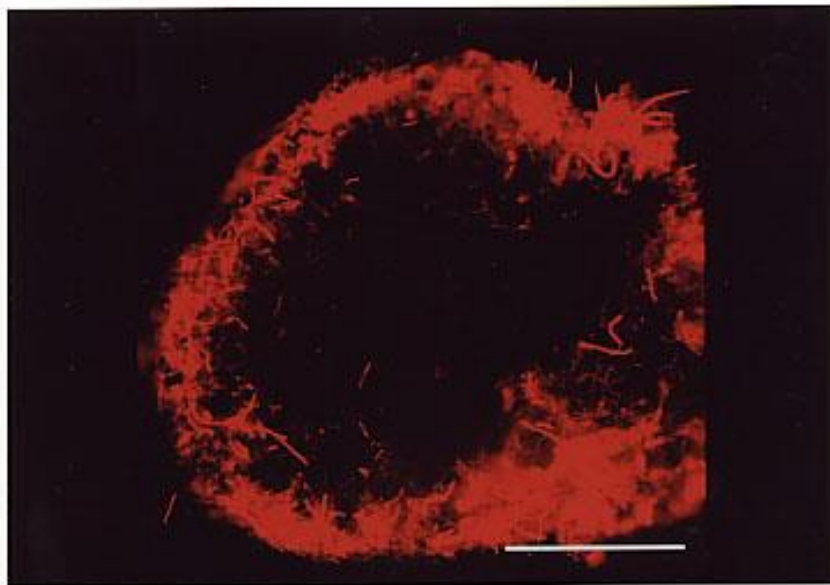
歩きながら大スケールの斜面方向を測っている！

氷河上の泥状物質





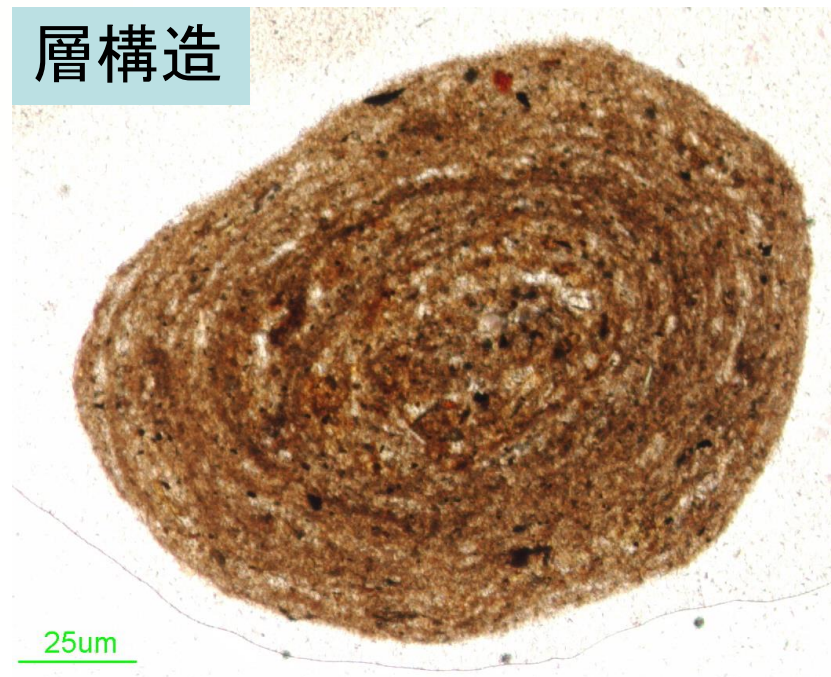
a



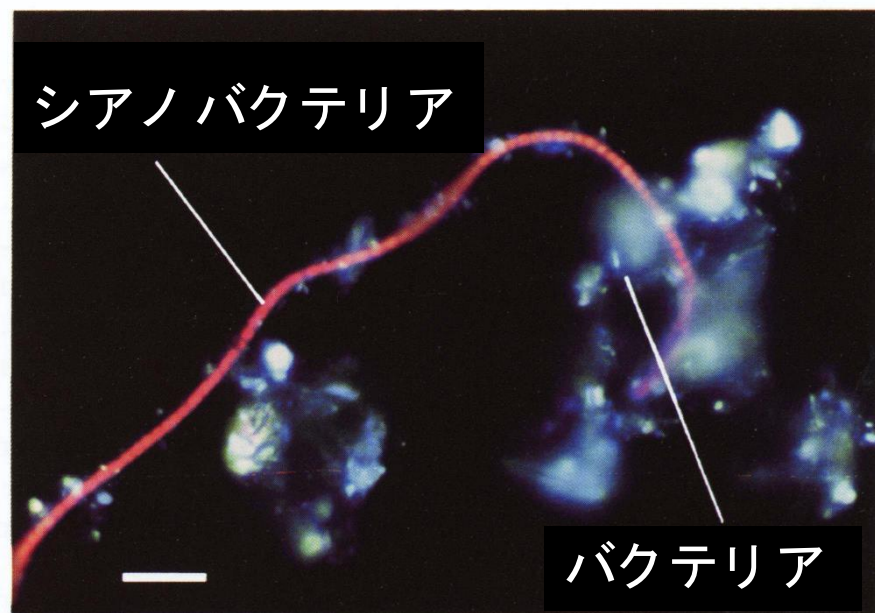
b

ストロマトライト 構造

層構造



シアノバクテリア



バクテリア

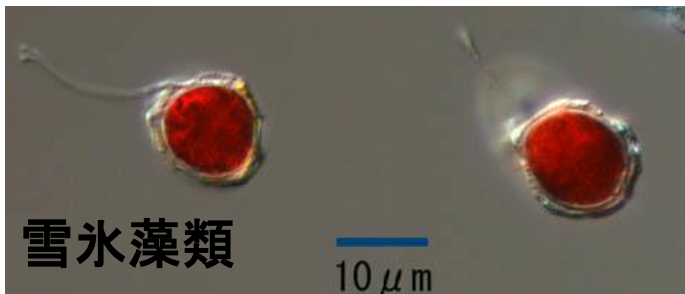
Glacier Ecosystem 氷河生態系



コオリミミズ
(アラスカ)

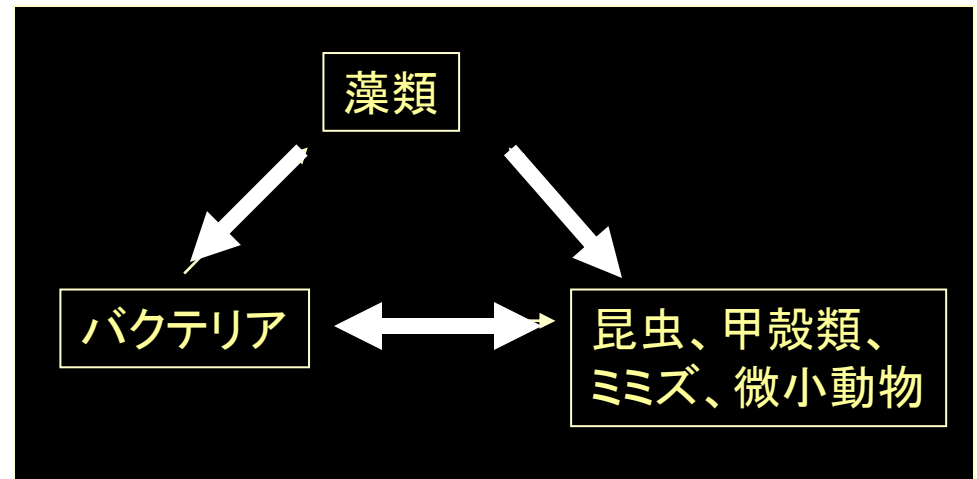


氷河昆虫
(パタゴニア)



雪氷藻類

10 μm



パタゴニアの氷河（サンラファエル氷河）



パタゴニアの氷河昆虫：無翅カワゲラ

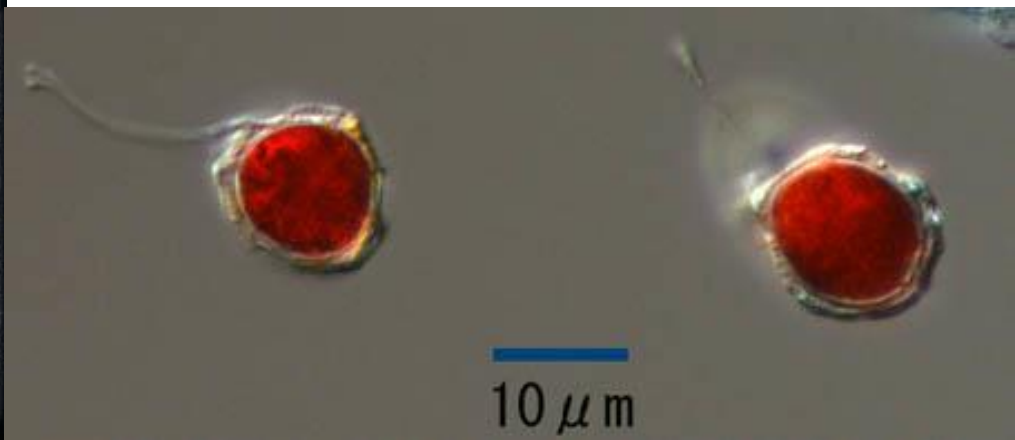


トビムシ類（カワゲラの食物）





雪氷藻類 (赤雪)



アラスカ

Harding Ice Field







コオリミミズは夜行性（3倍速再生動画）



氷河生態系研究：3つの視点

1：氷河生態系、雪氷生物の理解（生物学）

2：生物学的アイスコア解析（古環境科学）

＝＞氷河微生物を利用すれば
温暖氷河コアからも古環境情報

3：氷河微生物のアルベド効果（地球物理学）

＝＞生物が氷河変動に関わる
白い氷河と黒い氷河どう決まる？

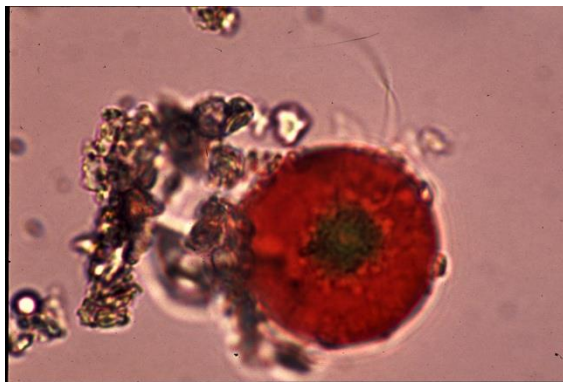
ドリルで氷河を掘る



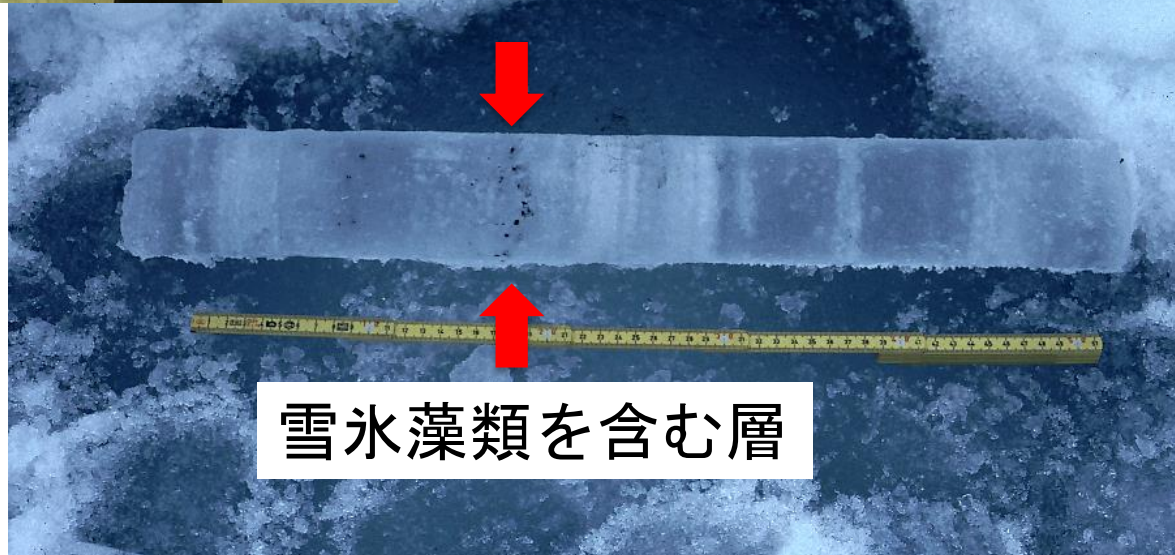
雪氷微生物を利用した
アイスコア解析

氷河の氷には
昔の雪氷微生物が
保存されている

掘り出したアイスコア

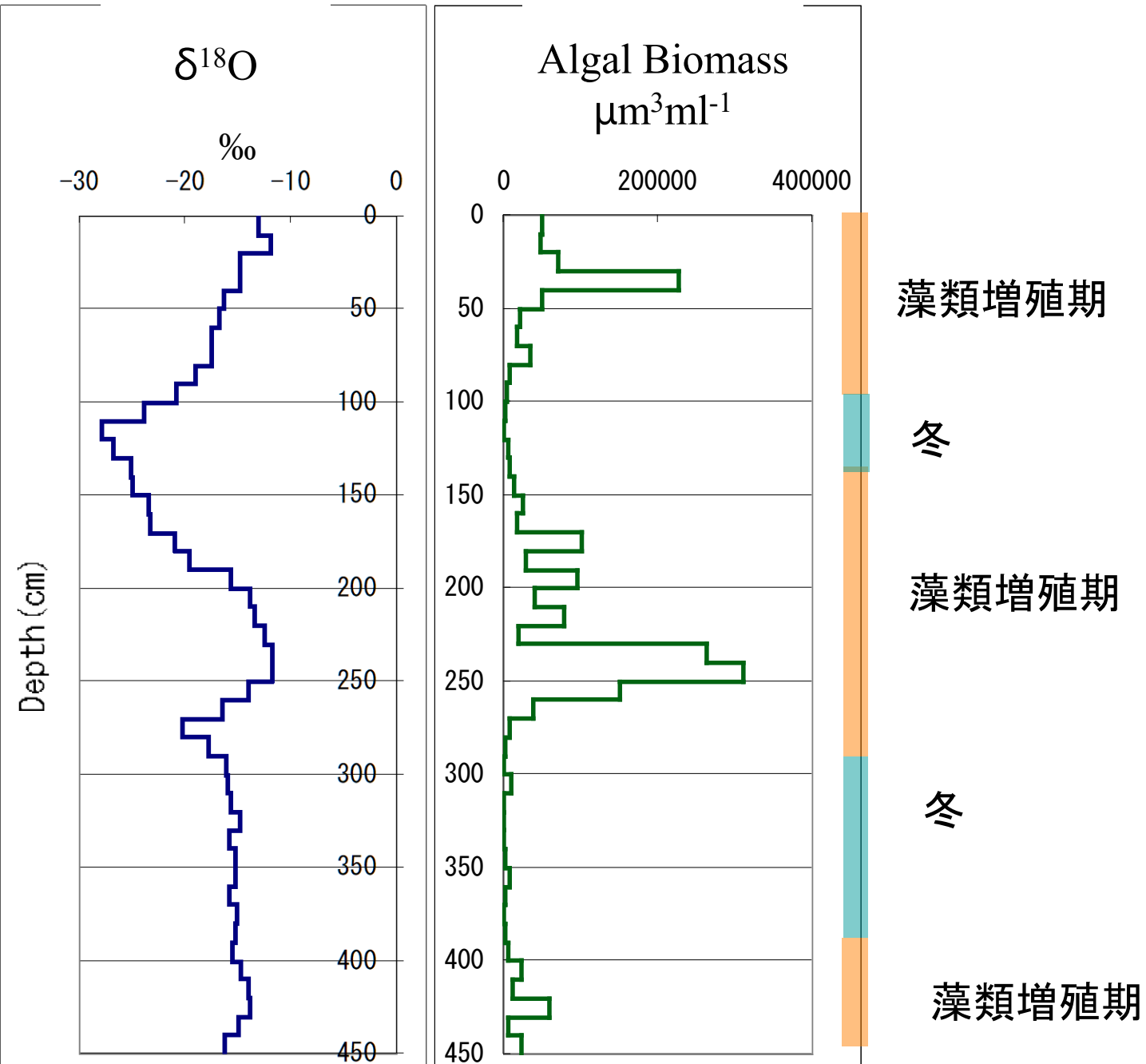


雪氷藻類



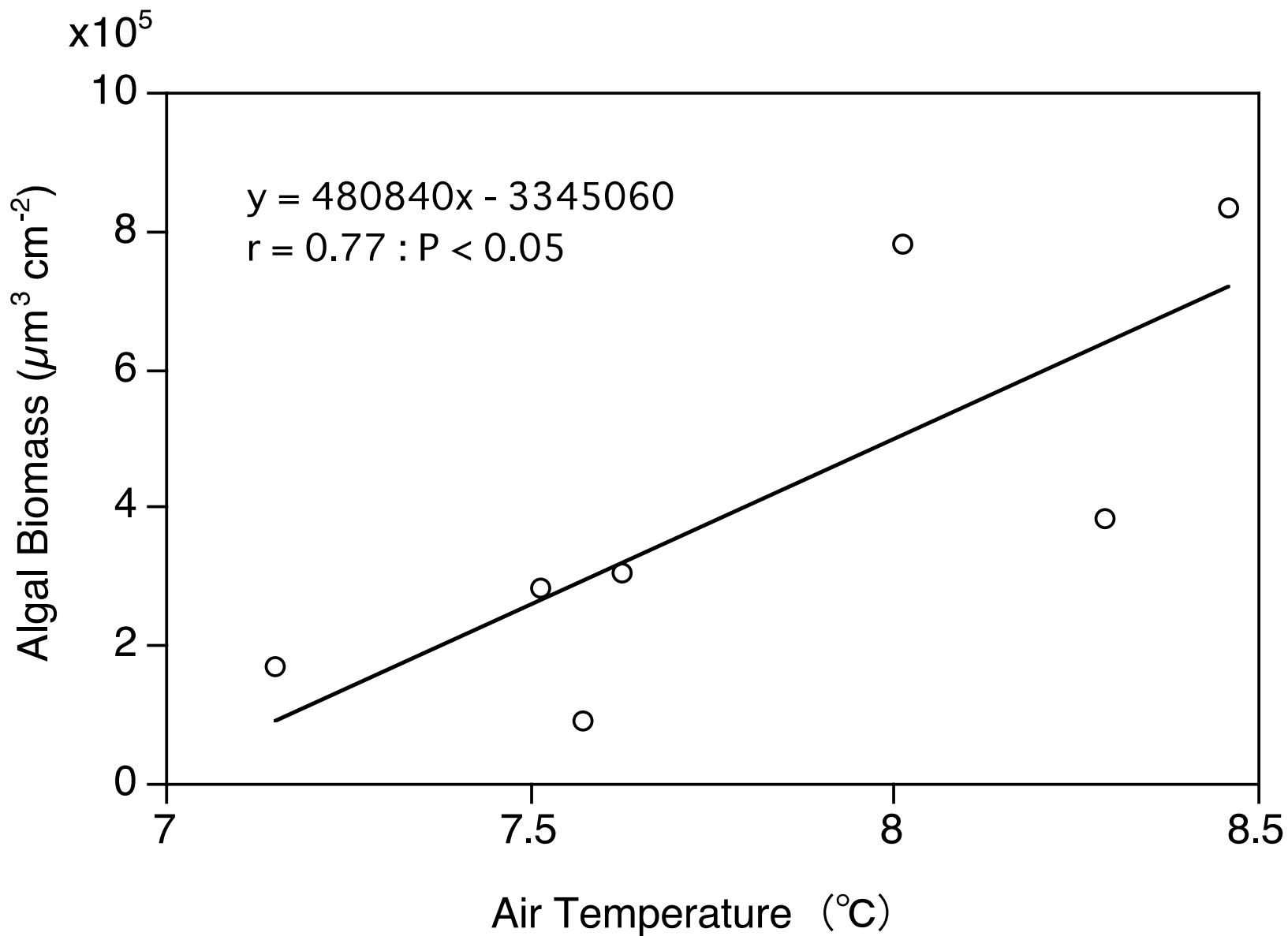
雪氷藻類を含む層

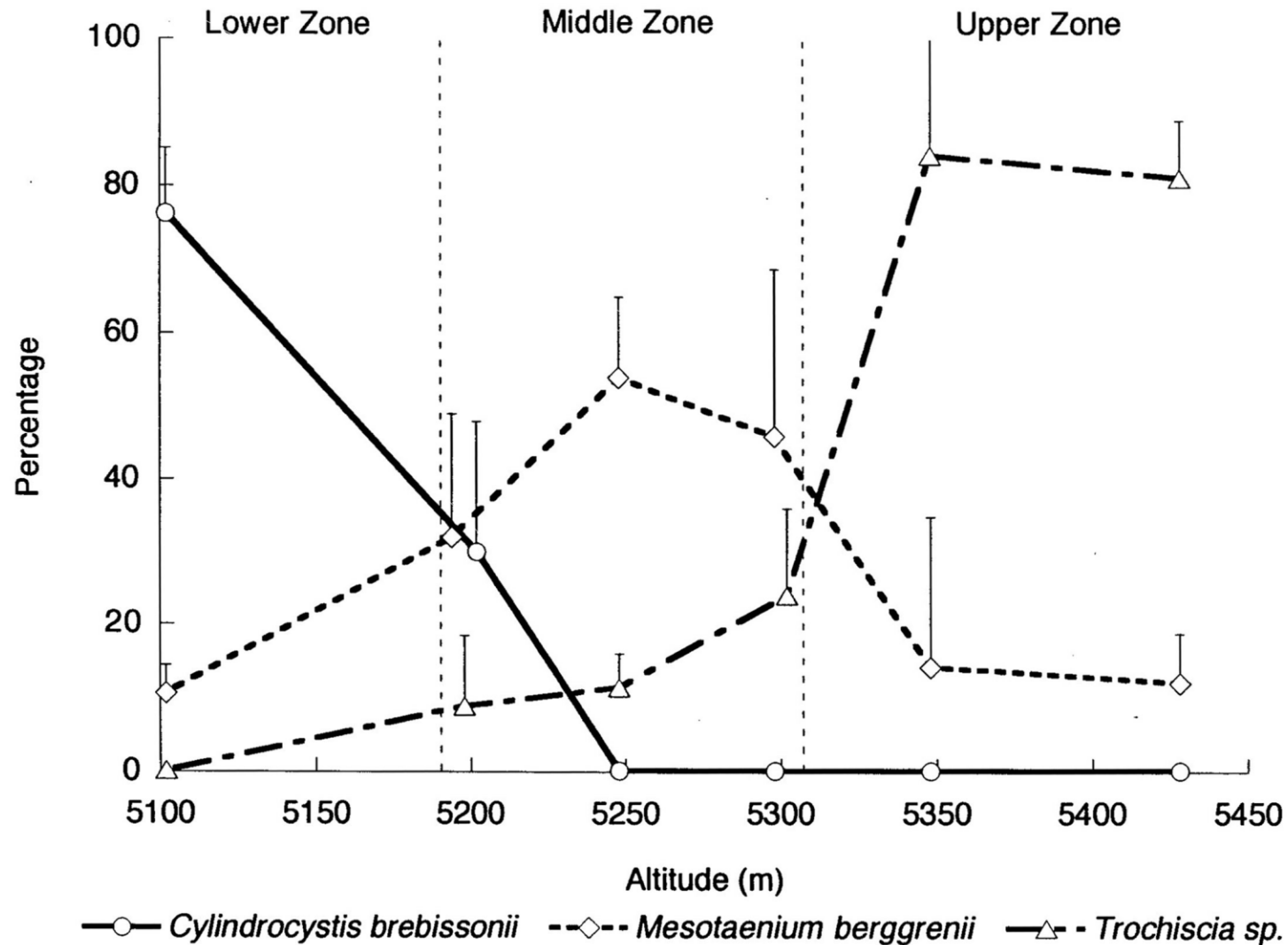
ロシア・
アルタイ山脈
の氷河



雪氷藻類はアイスコアの年代決定に利用できる

アイスコア中の雪氷藻類量は夏の気温と相関





氷河上の雪氷藻類の種類は標高によって変わる

アイスコア中の雪氷藻類の種類からも過去の環境がわかる

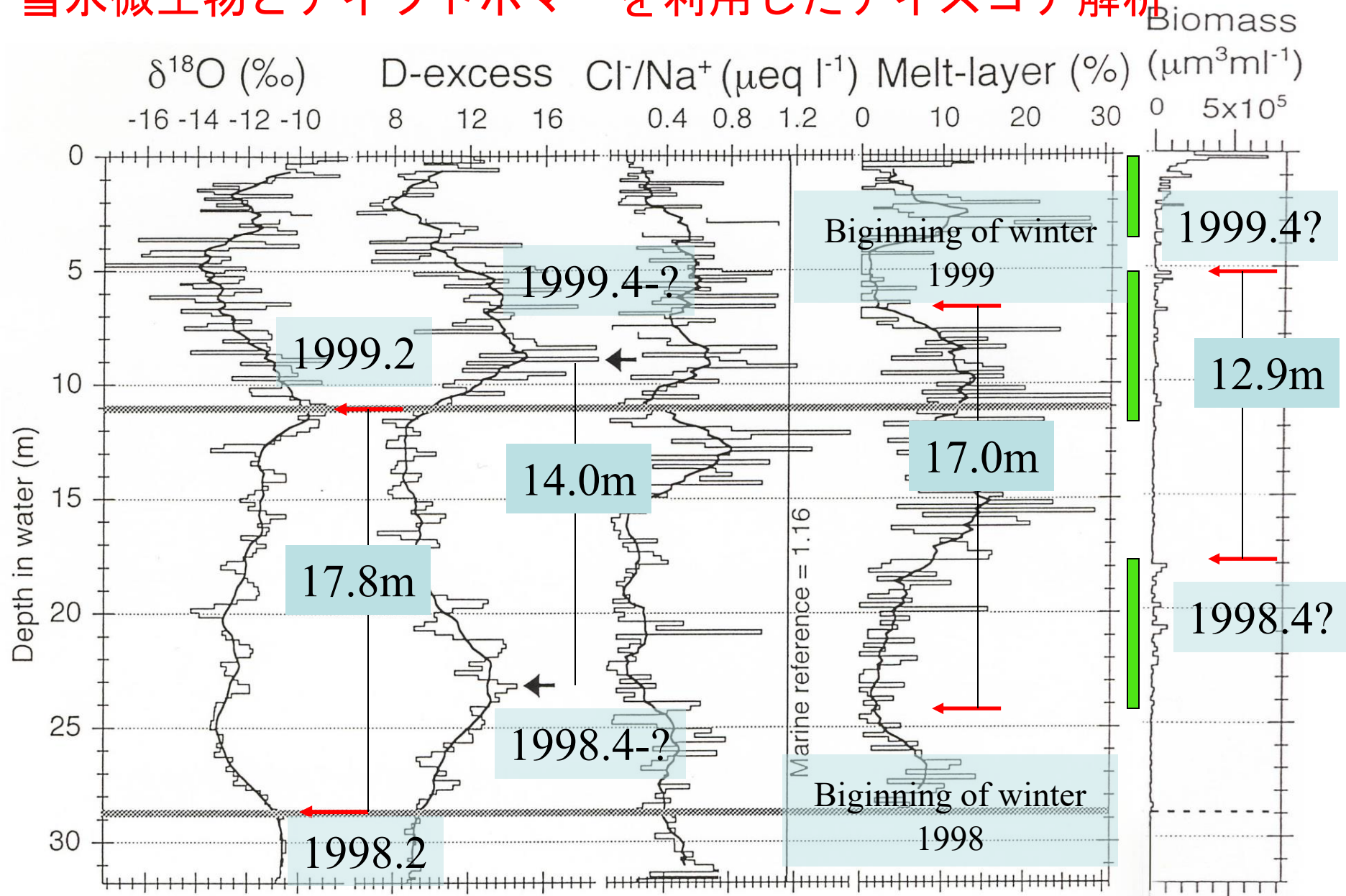
パタゴニア氷原での氷河ボーリング



比較的低緯度にも関わらず
パタゴニアになぜ大きな氷河が発達？
どのくらい降水があるのか？

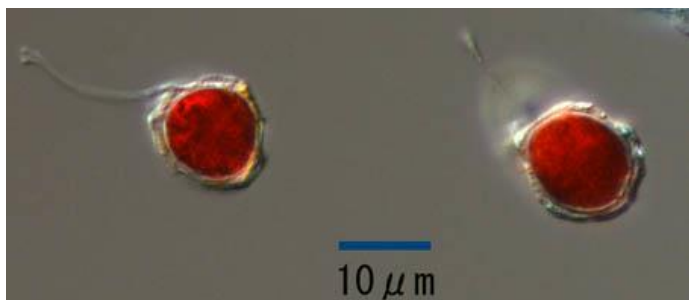


雪氷微生物とアイソトポマーを利用したアイスコア解析



世界最大級の降水量 (>十数m/year) が初めて明らかに

微生物が 氷河の色を変えて 氷河を融かす！



白い氷河（パタゴニア）



ピンクの氷河（アラスカ）



黒い氷河（ヒマラヤ）

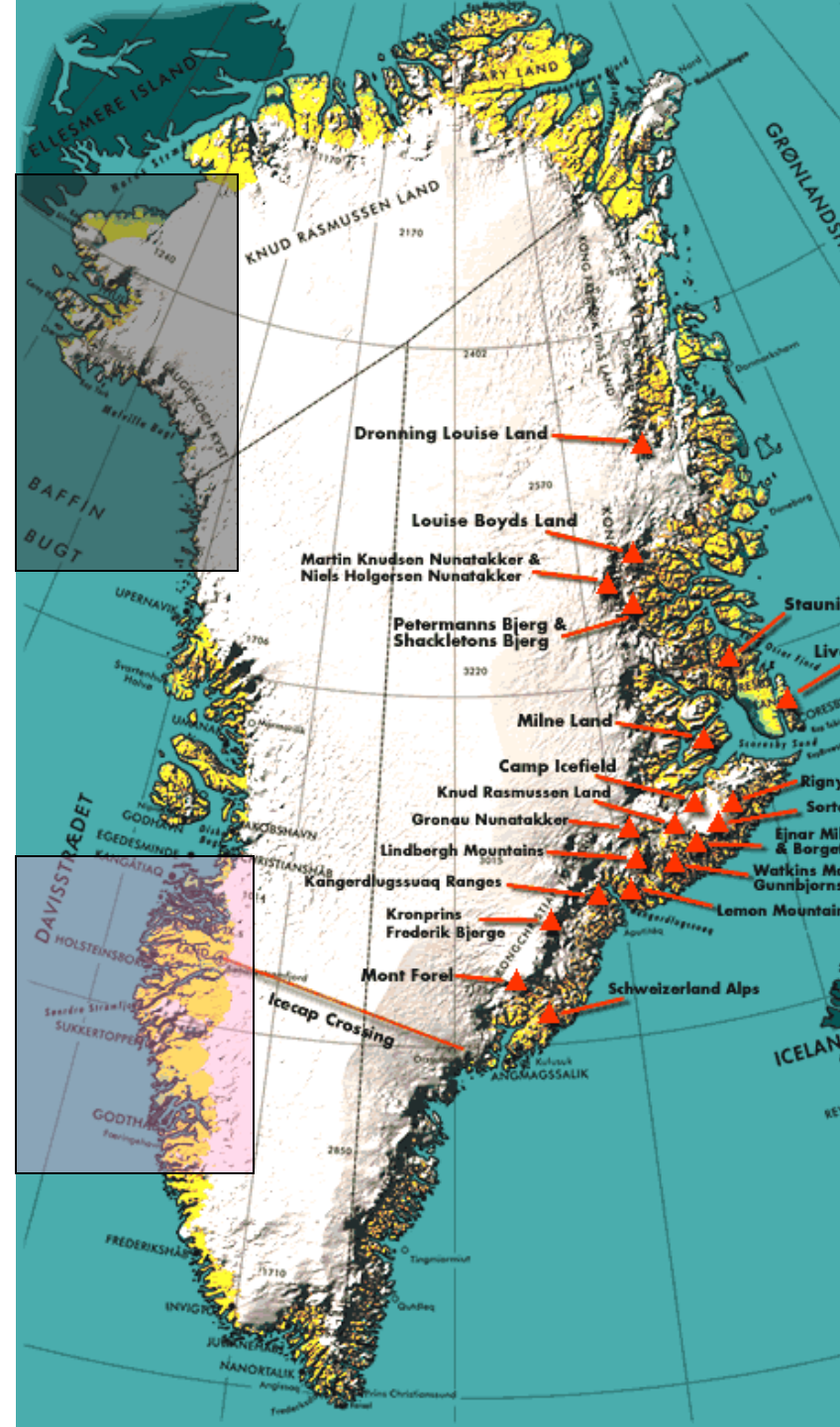
グリーンランド氷床の アルベドと雪氷微生物

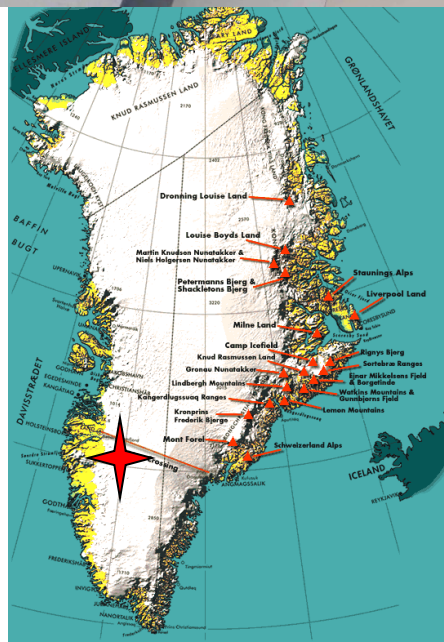
コペンハーゲン大学等との共同研究

地球上の淡水の10 % に相当
する氷が存在

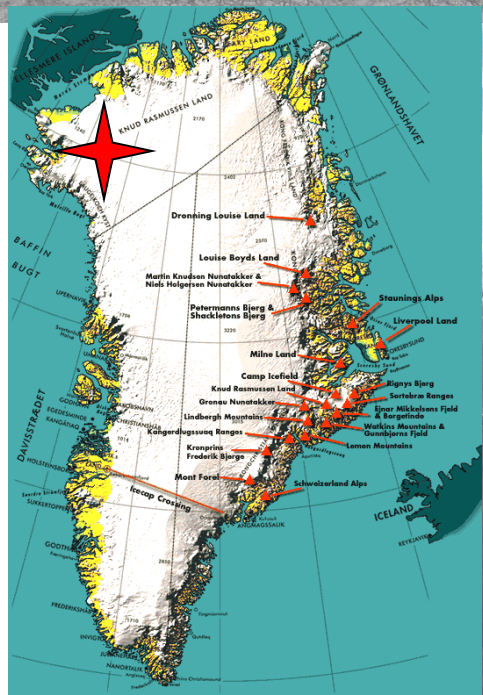
温暖化による海面上昇への大
きな寄与が予想されている

白い部分と暗色の部分がある





南部の
消耗域



北部の 消耗域

グリーンランド北西部の氷河

生物起源の暗色の汚れに覆われている

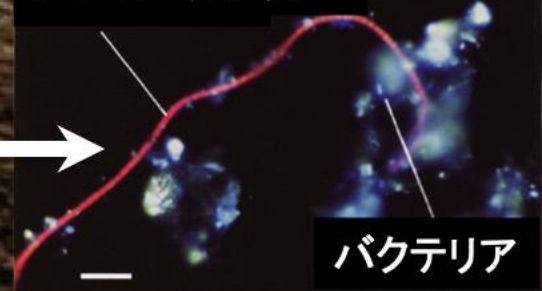


グリーンランドでも微生物活動が氷河融解を加速

クリオコナイト
(Cryoconite)
直径1-2mm



シアノバクテリア



バクテリア

飼育下ハンドウイルカの 休息行動に関する研究



Sekiguchi, Y & Kohshima, S., Physiology & Behavior (2003)
Sekiguchi, Y., Arai, K., Kohshima, S. , Nature, (2006)

イルカはいつどうやって寝ているのか？

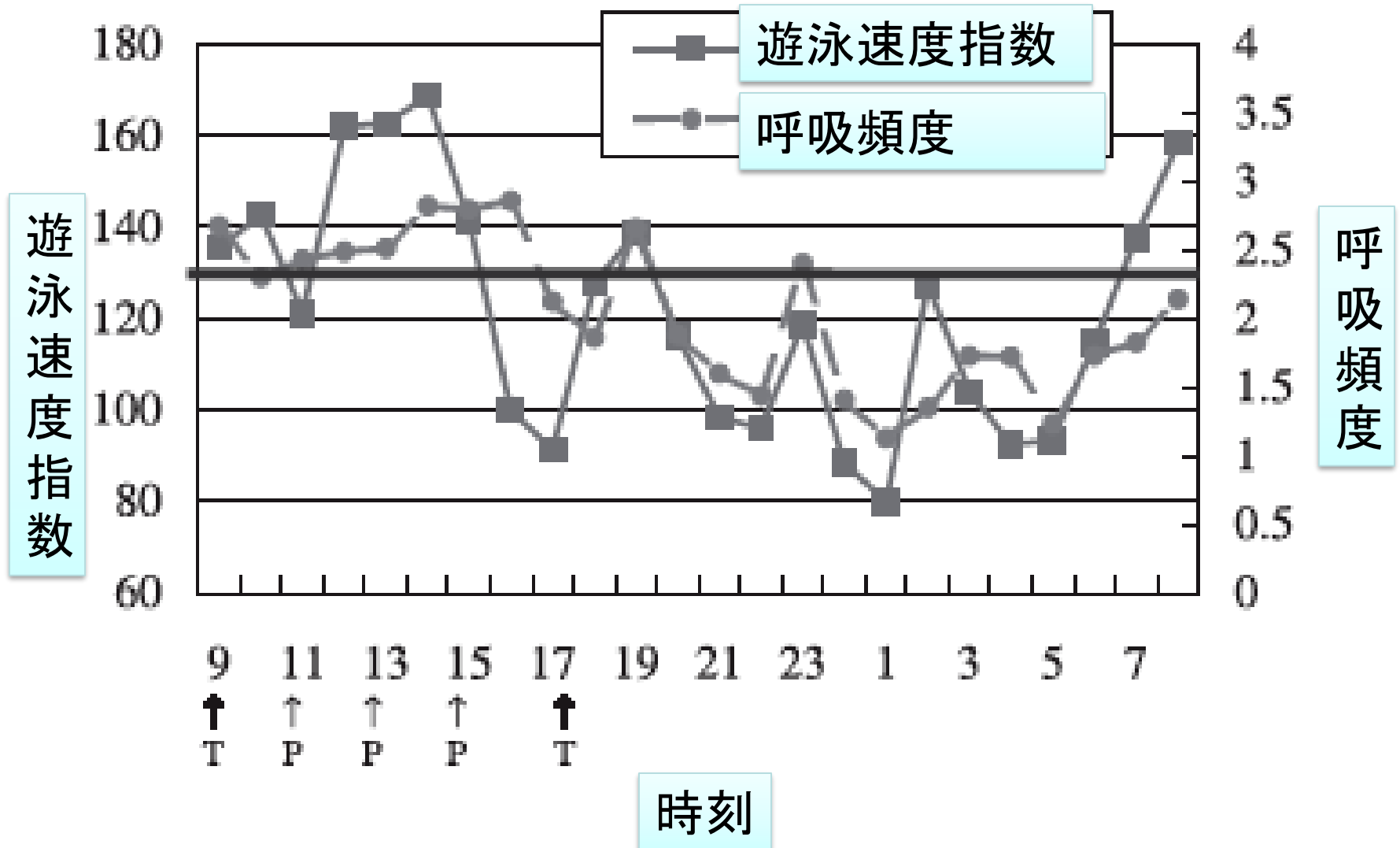
変な学生との出会いから

3水族館で16頭のイルカを観察

Dr. 関口さん

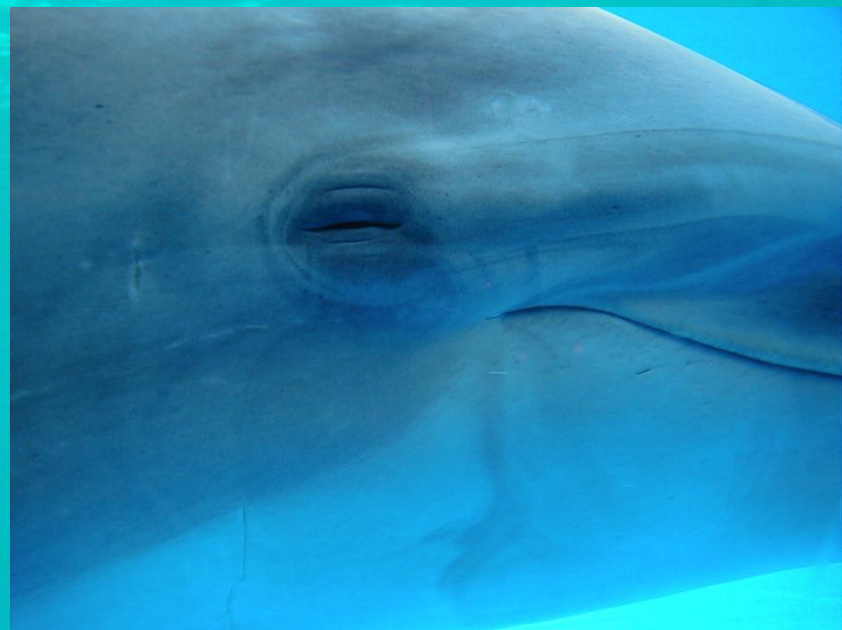


飼育ハンドウイルカの活動周期



ハンドウイルカの 休息行動

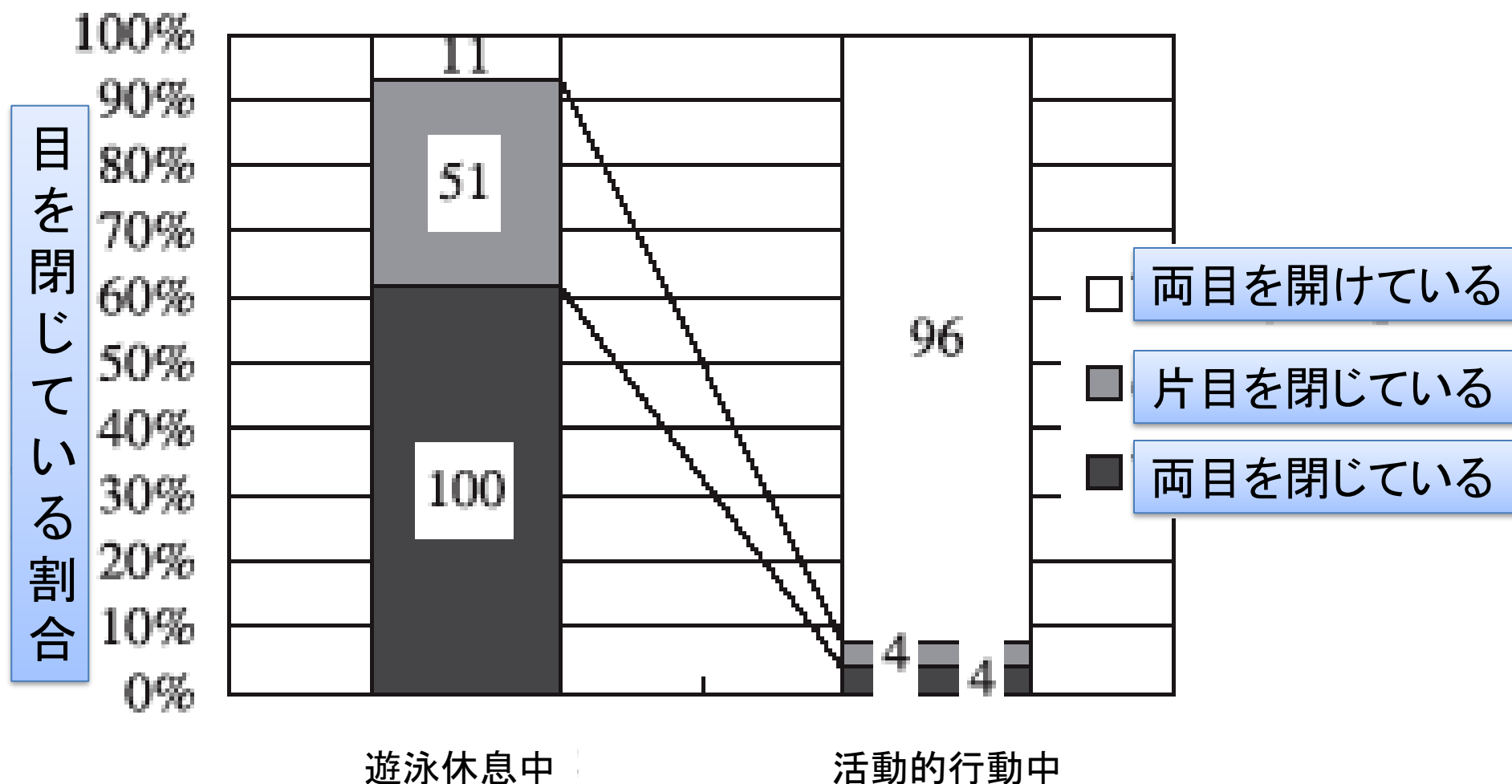




閉じた目

開いた目

休息行動中は左右どちらかの目を閉じてる 半球睡眠？



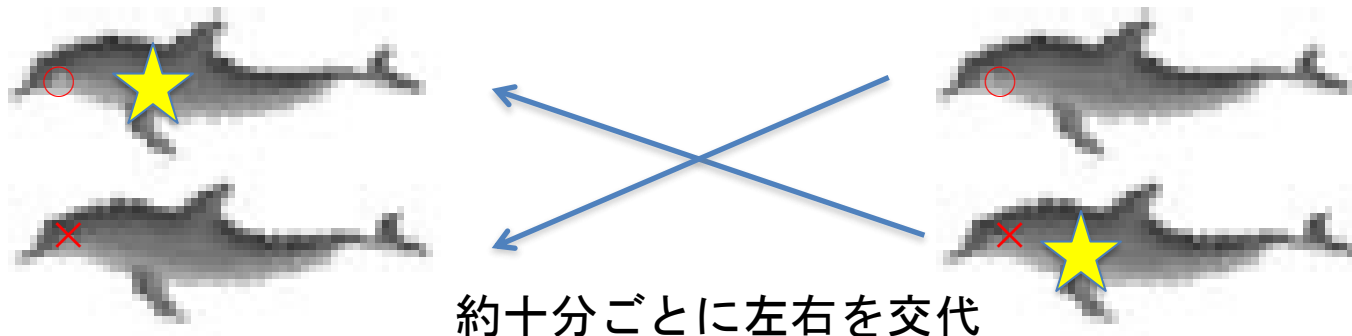
日中に観察された遊泳休息と活動的遊泳時の目の状態（南知多ビーチランド）

遊泳休息と半球睡眠

オトナ同士ペア：左右横並び、相手側の目を開けて泳ぐ

左右の並び方を約 10 分ごとに交代 (4.52 回/h、).

- => 約 10 分ごとに閉じる目を変えている
- => 左右の脳半球を交互に均等に休ませている



右目閉じる（左脳睡眠）

左目閉じる（右脳睡眠）

A group of wild Indo-Pacific bottlenose dolphins are swimming in clear blue water. They are arranged in a loose formation, with some dolphins in the foreground and others further back. The dolphins have a dark grey or black upper body and a lighter, almost white, underbelly. They are swimming over a rocky seabed, which is visible in the lower part of the image. The water is a deep blue, and the overall scene is peaceful and natural.

Wild Indo-Pacific bottlenose
dolphins (*Tursiops aduncus*)

御蔵島周辺海域の
ミナミハンドウイルカ

遊泳休息
carpet formation

Photo by Takashi Uzu

休息遊泳中も呼吸浮上時には目を開けていることが多い！

Sleep in continuously active dolphins

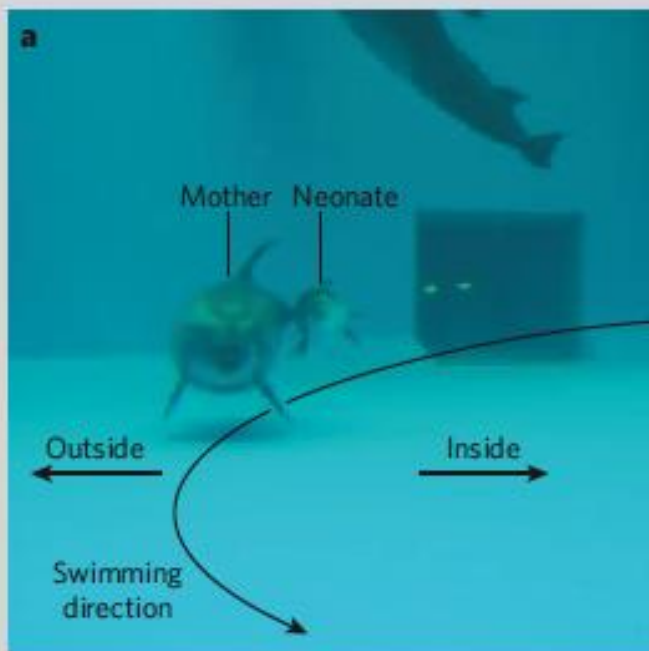
Arising from: O. Lyamin, J. Pryaslova, V. Lance & J. Siegel *Nature* 435, 1177 (2005).

Yuske Sekiguchi*, Kazutoshi Arai†, Shiro Kohshima‡

出産直後の母子3組の観察

不動タイプの休息行動が見られない

かなりの量の遊泳休息が見られた
(子供31.3–40.7% オトナメス>40%)



呼吸のために数十秒-数分ごとに覚醒度が上がる

クジラと高速船の衝突事故

：クジラやイルカがどこでどうやって寝るのかの理解は大切

- 国内での衝突件数は過去 6 年間だけでも 20 件以上
- 2007 年 4 月には釜山港外で死者 1 名 負傷者 102 名
- UWS (Under Water Speaker; 7 – 20kHz) 効果疑問

種子屋久島高速船株式会社



寝ているクジラとの衝突？

2012年4月22日午前9時ごろ、
鹿児島港から屋久島に向かっていた
高速船トッピーが、
佐多岬沖でザトウクジラと衝突

Flipper rubbing behavior of wild bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*)

野生ミナミハンドウイルカの社会行動



互いにこすり合う行動



伊豆諸島御蔵島周辺海域

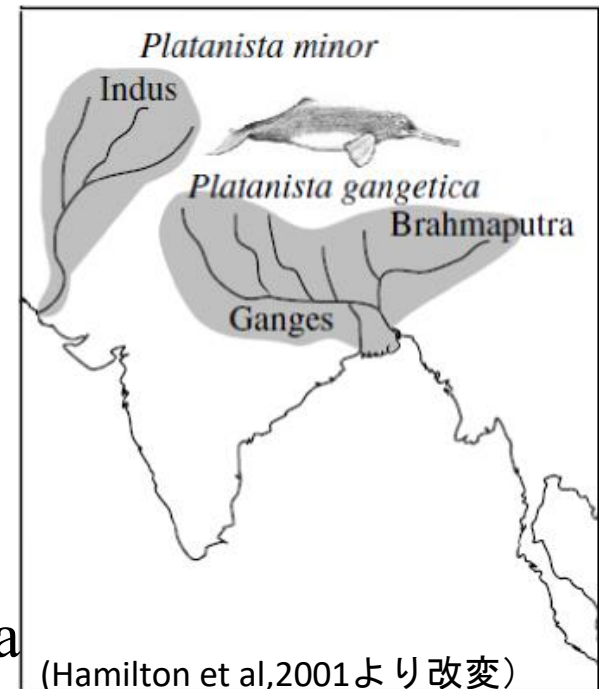
Sakai, M., Hishii, T., Takeda, S. and Kohshima, S., Marine Mammal Science (2006).

Sakai, M., Hishii, T., Takeda, S. and Kohshima, S., Behavioural Brain Research (2006).

ガンジスカワイルカ

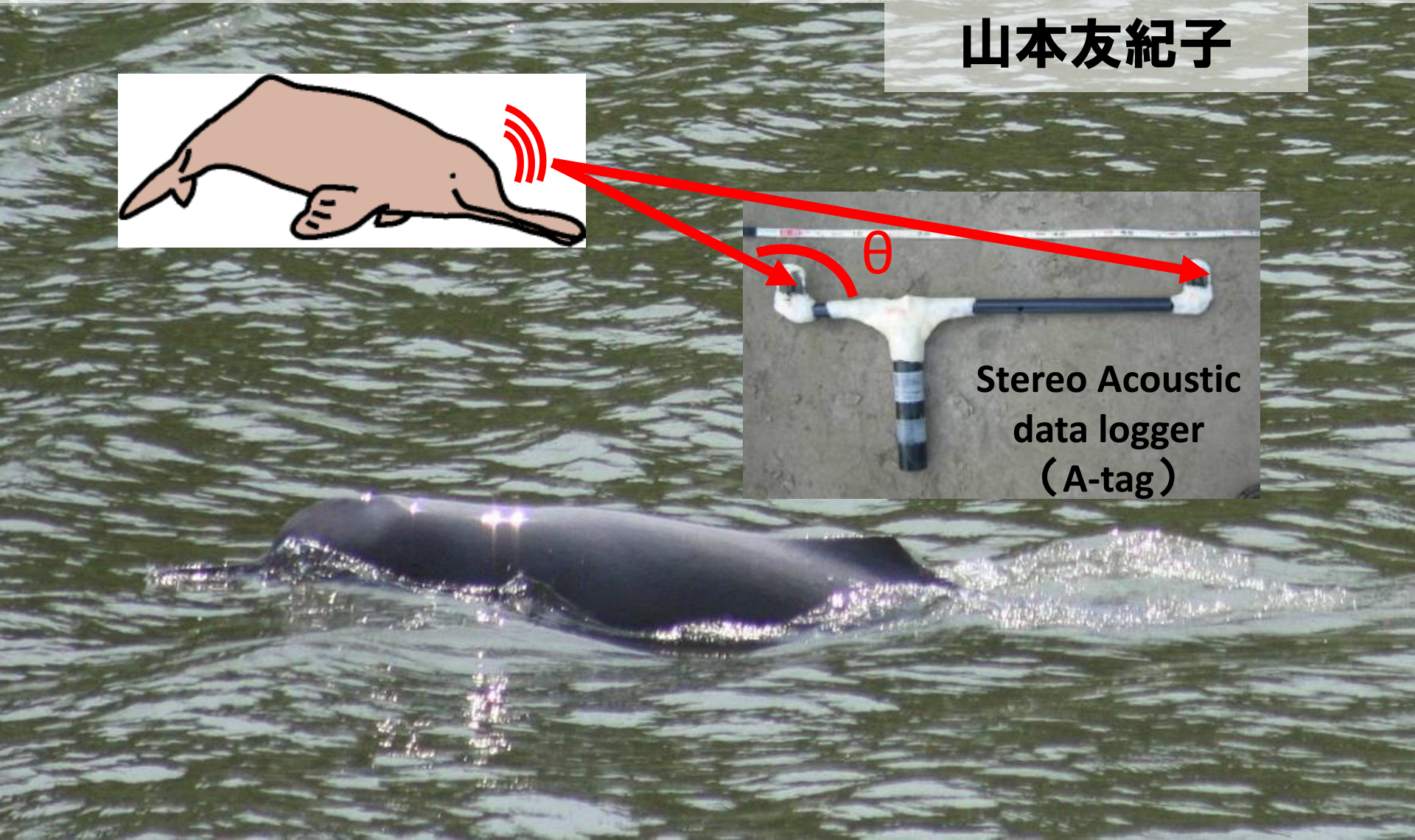
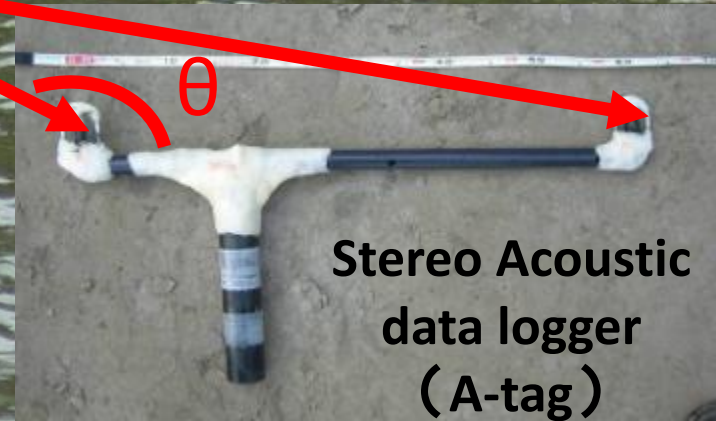
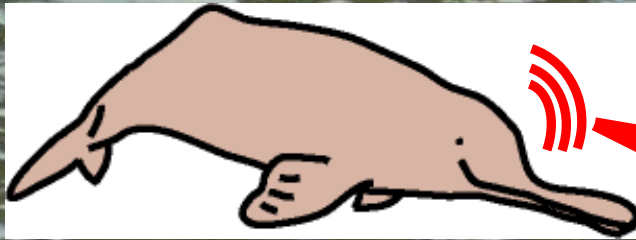
(*Platanista gangetica gangetica*)

- 淡水性のハクジラ
- 水晶体がない 明暗はわかる
→ エコーロケーションに頼っている
- 個体数 約2000頭 → 絶滅の危機

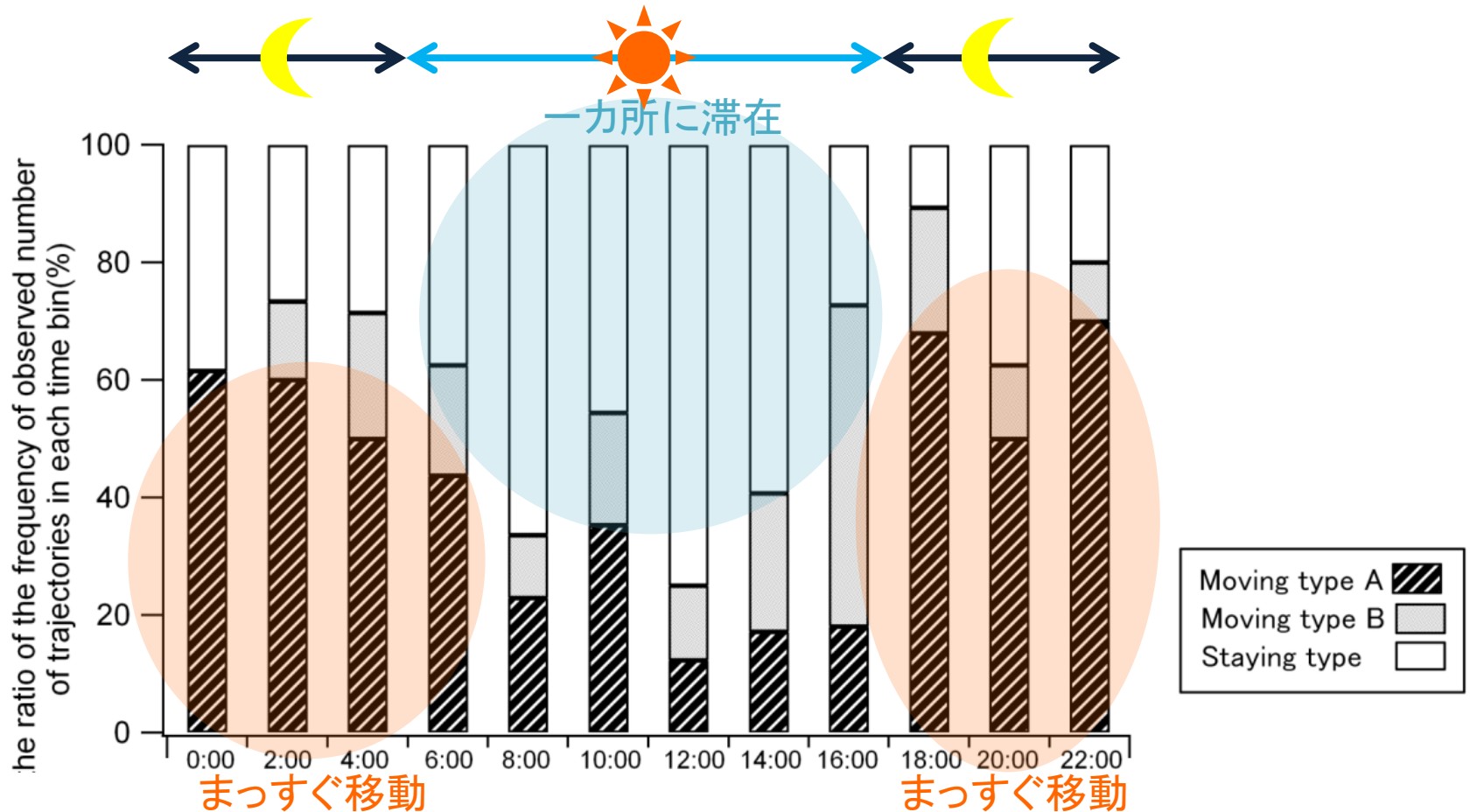


音響的手法を用いたカワイルカの行動解析

山本友紀子



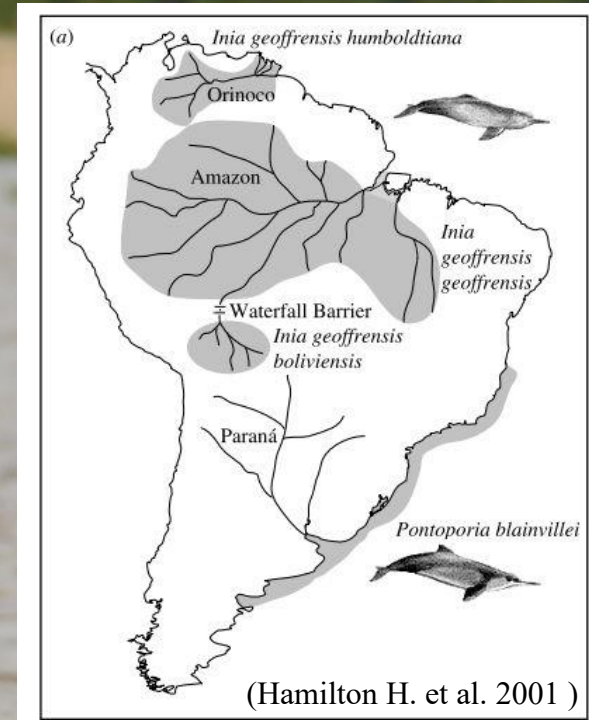
一日の時間帯による行動の変化



- ガンジスカワイルカは**主に夜間に移動**し、日中は一カ所にとどまる傾向がある。

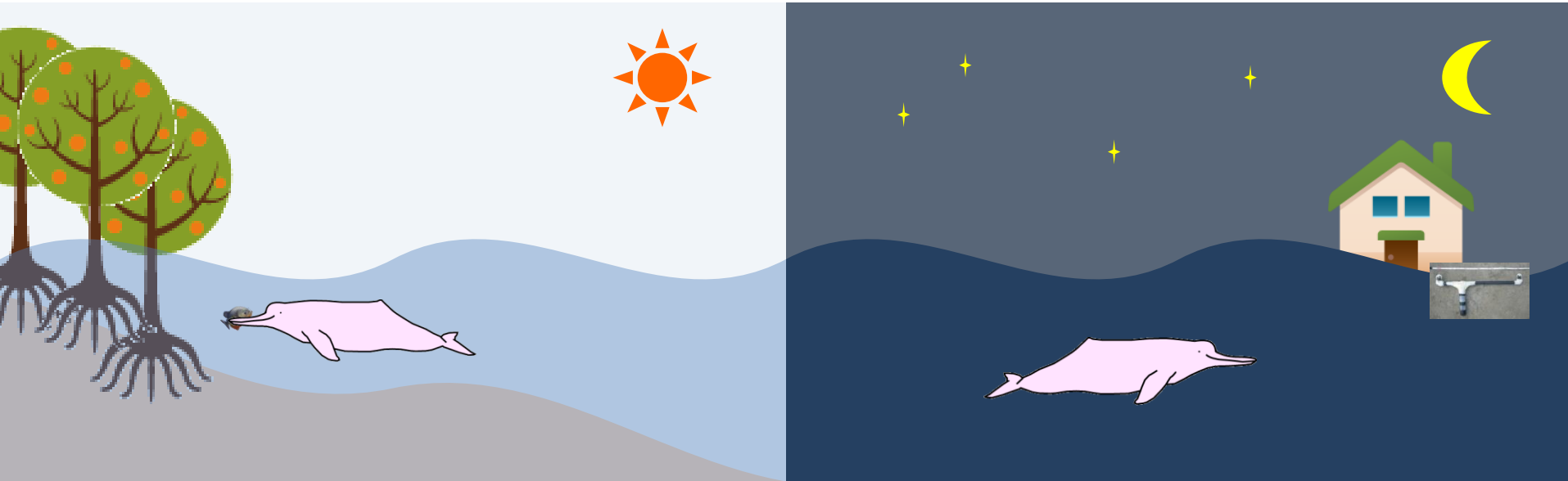
アマゾンカワイルカ, boto (*Inia geoffrensis*)

- 体サイズ: ♂2.6m ♀2.3m
- 分布: アマゾン川, オリノコ川
- 食物: 魚(体長5-80cm), 43種が報告



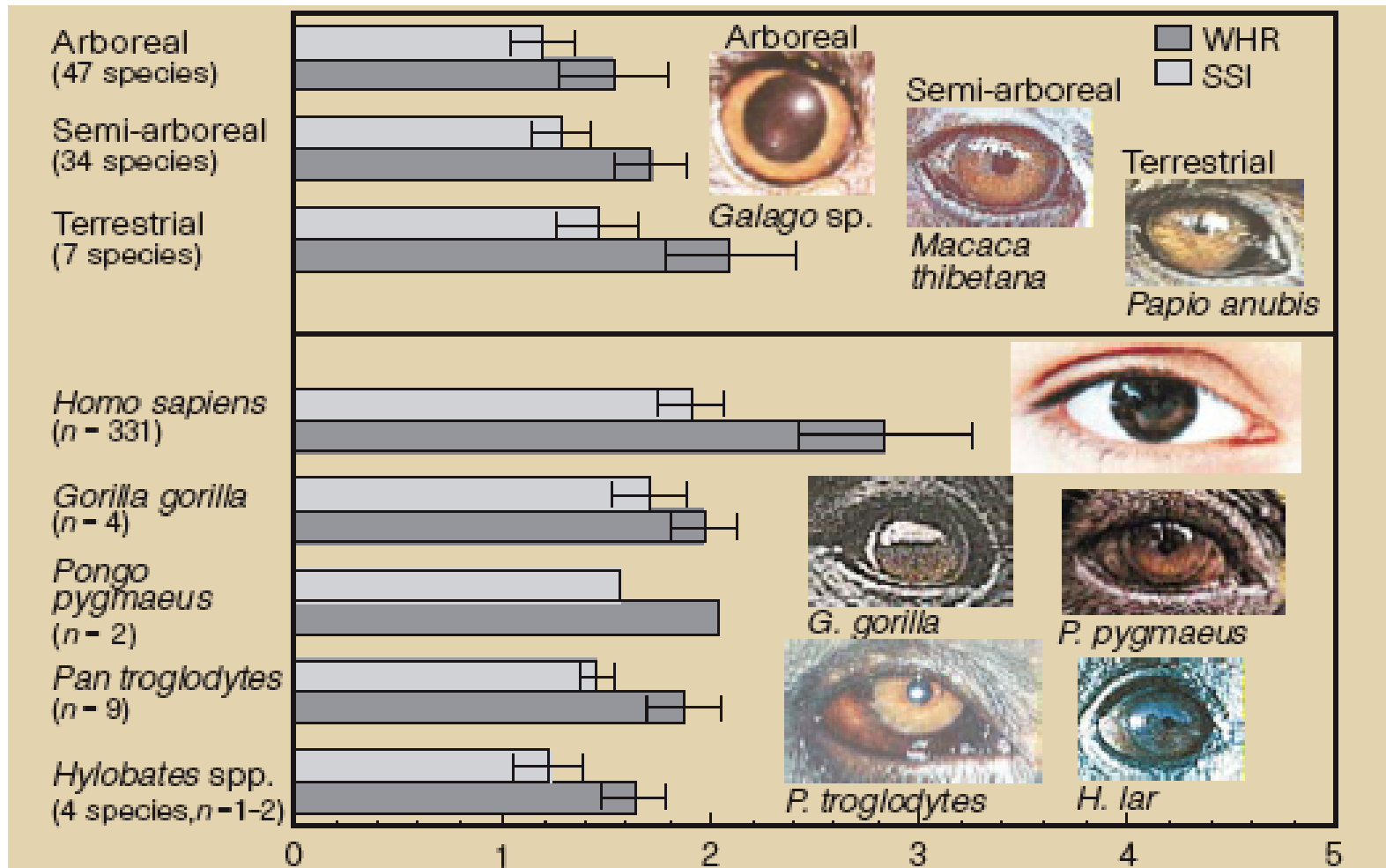
時間帯による利用環境の違い

- いつどこで何をしているか？（共存のための基礎情報）
 - 流れの緩い場所を好む
 - 昼と夜とで異なる環境を利用
 - 日中は川辺にある浸水林付近、夜は中心の深い場所
 - 採食と見られる行動が湖の縁で観察された

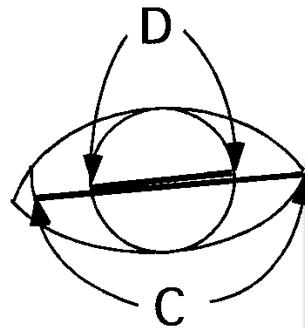
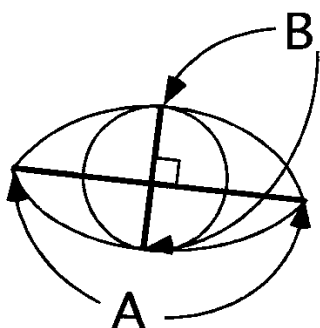


白目があるのはヒトだけか？

ヒトの目の特殊性：白くて広い露出強膜、横長な形



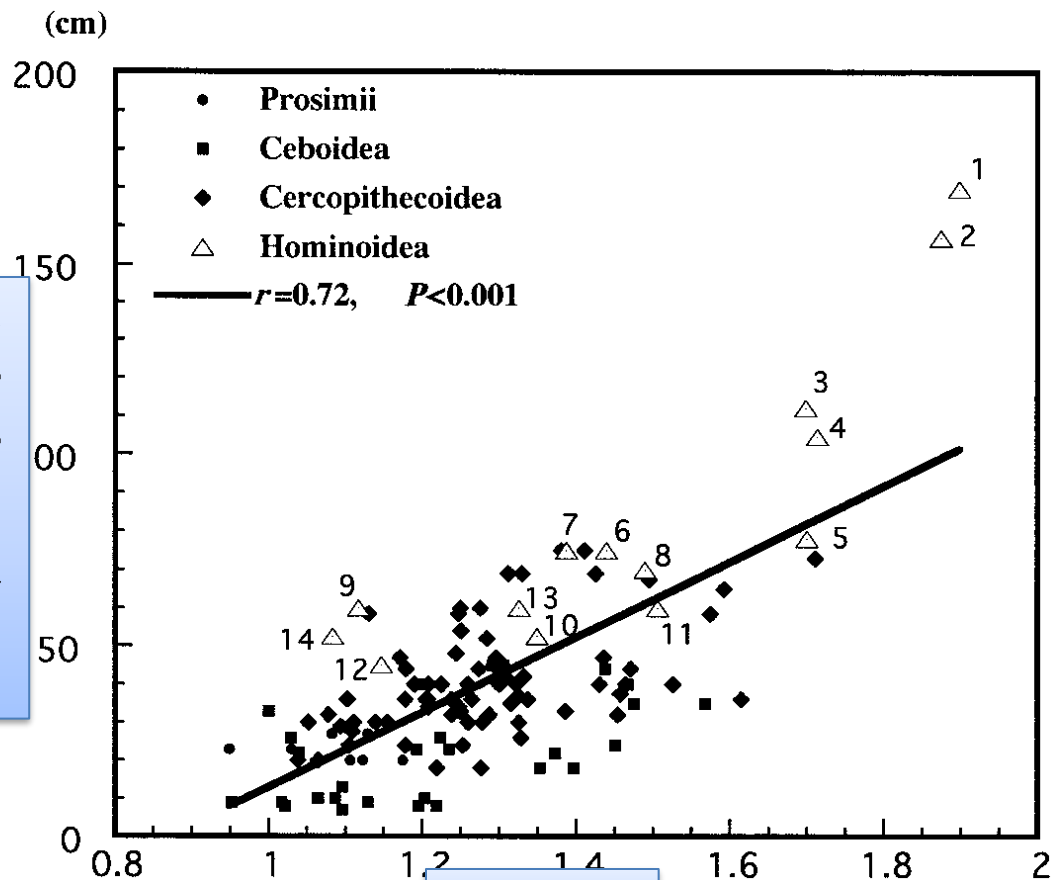
白目の比率は体サイズと相関する



横長度 = (A)/(B)

白目度 = (C)/(D).

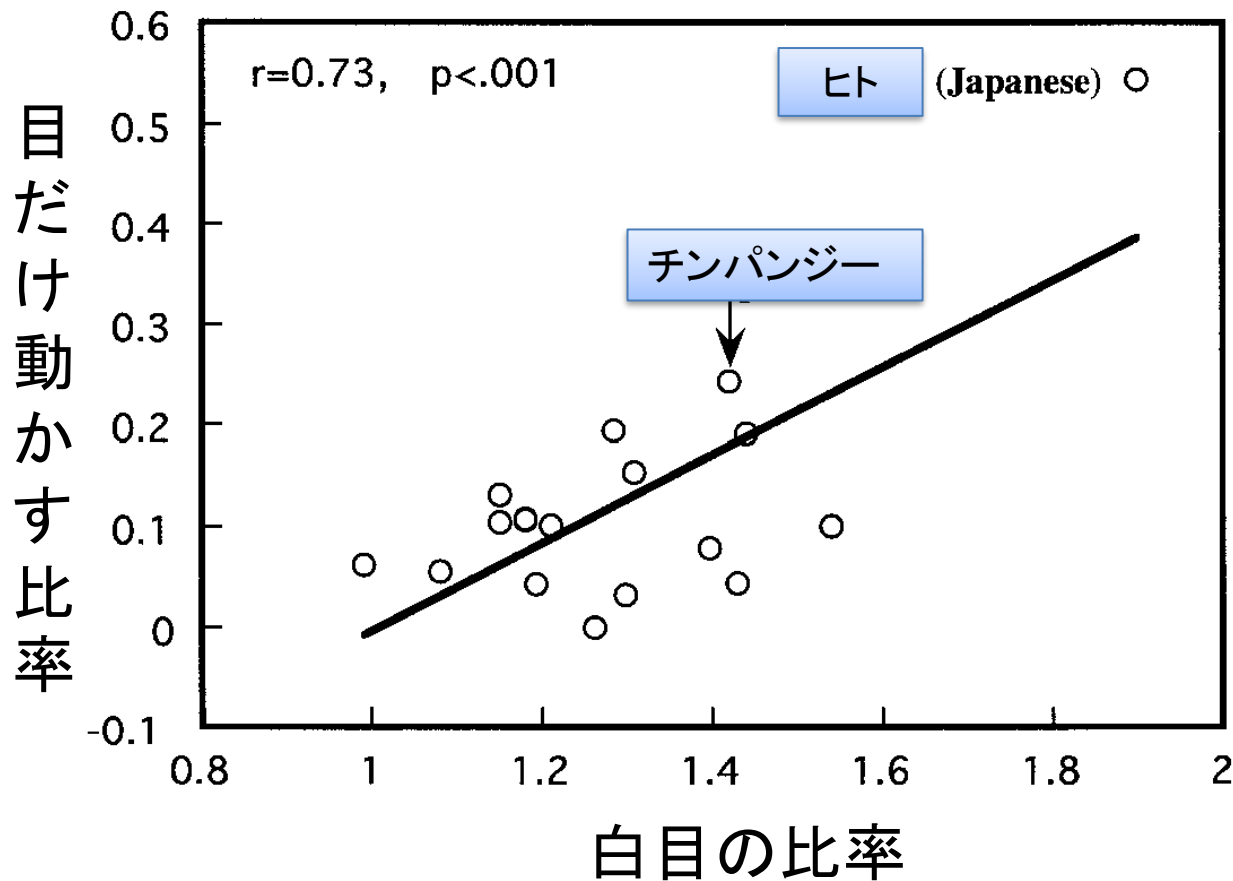
歩行時の体高



- | | |
|------------------------------------|------------------------------|
| 1 <i>Homo sapiens</i> (Japanese) ♂ | 8 <i>P. paniscus</i> ♂ |
| 2 <i>H. sapiens</i> (Japanese) ♀ | 9 <i>Hylobates agillis</i> ♀ |
| 3 <i>Gorilla</i> ♀ | 10 <i>H. lar</i> ♂ |
| 4 <i>Gorilla</i> ♂ | 11 <i>H. lar</i> ♀ |
| 5 <i>Pongo</i> ♀ | 12 <i>H. pileatus</i> ♀ |
| 6 <i>Pan troglodytes</i> ♂ | 13 <i>H. syndactylus</i> ♂ |
| 7 <i>P. troglodytes</i> ♀ | 14 <i>H. syndactylus</i> ♀ |

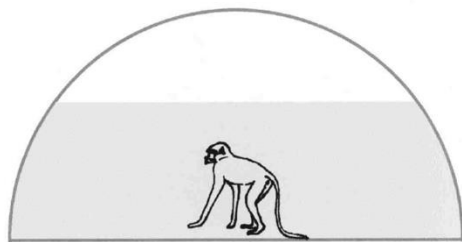
スケーリング？

白目の比率が高い種ほど眼だけ動かして視野変更する

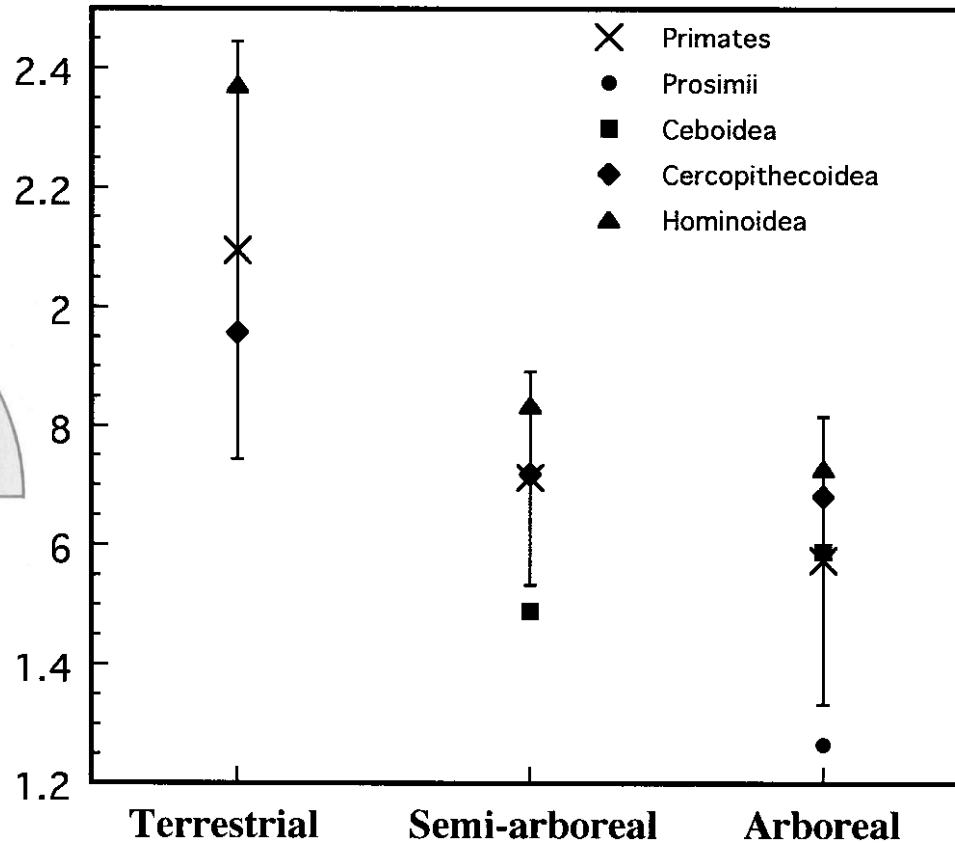


体が高いほど目だけ動かした方がエネルギー節約効果大

横長度は生活(視覚)空間と関係がある



地上性



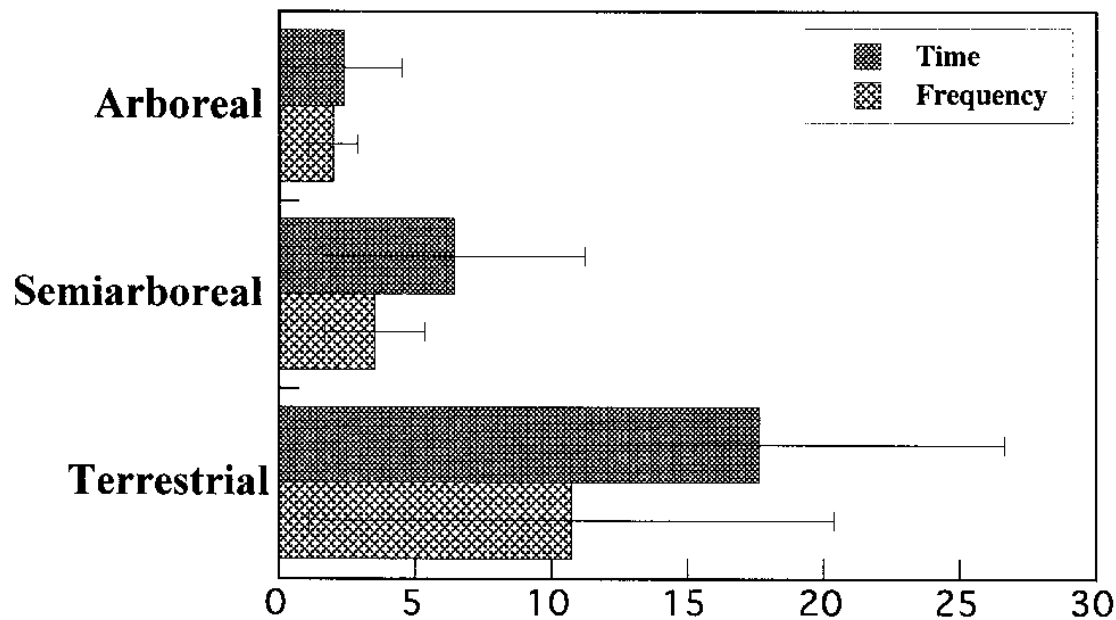
樹上性

地上性

樹上性

地上性が強いほど目は横長

a



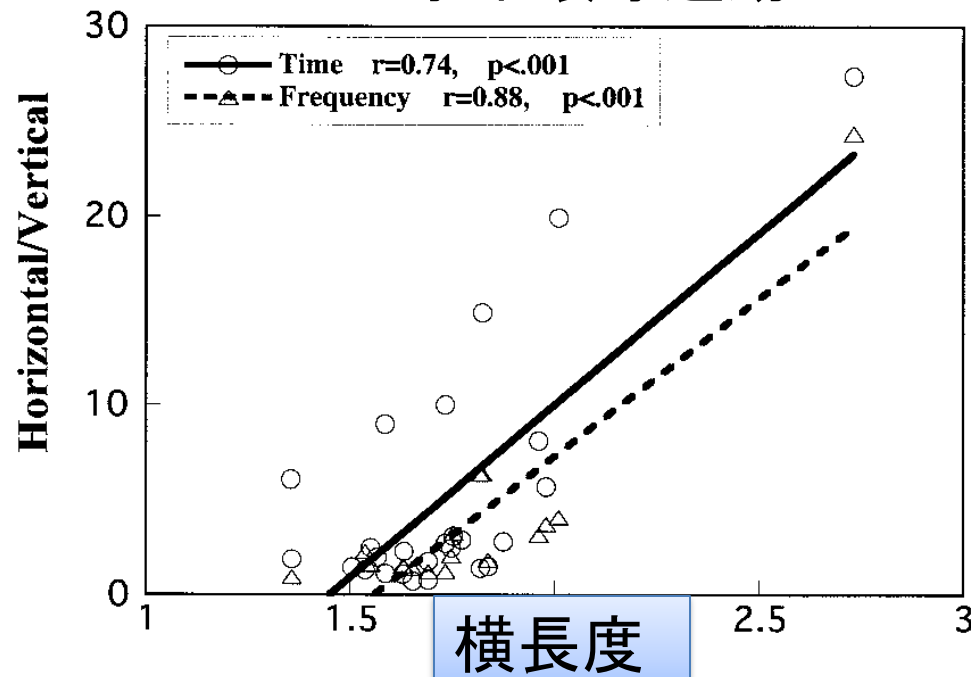
樹上性

地上性が強いほど
眼球を水平に動かす

地上性

水平眼球運動

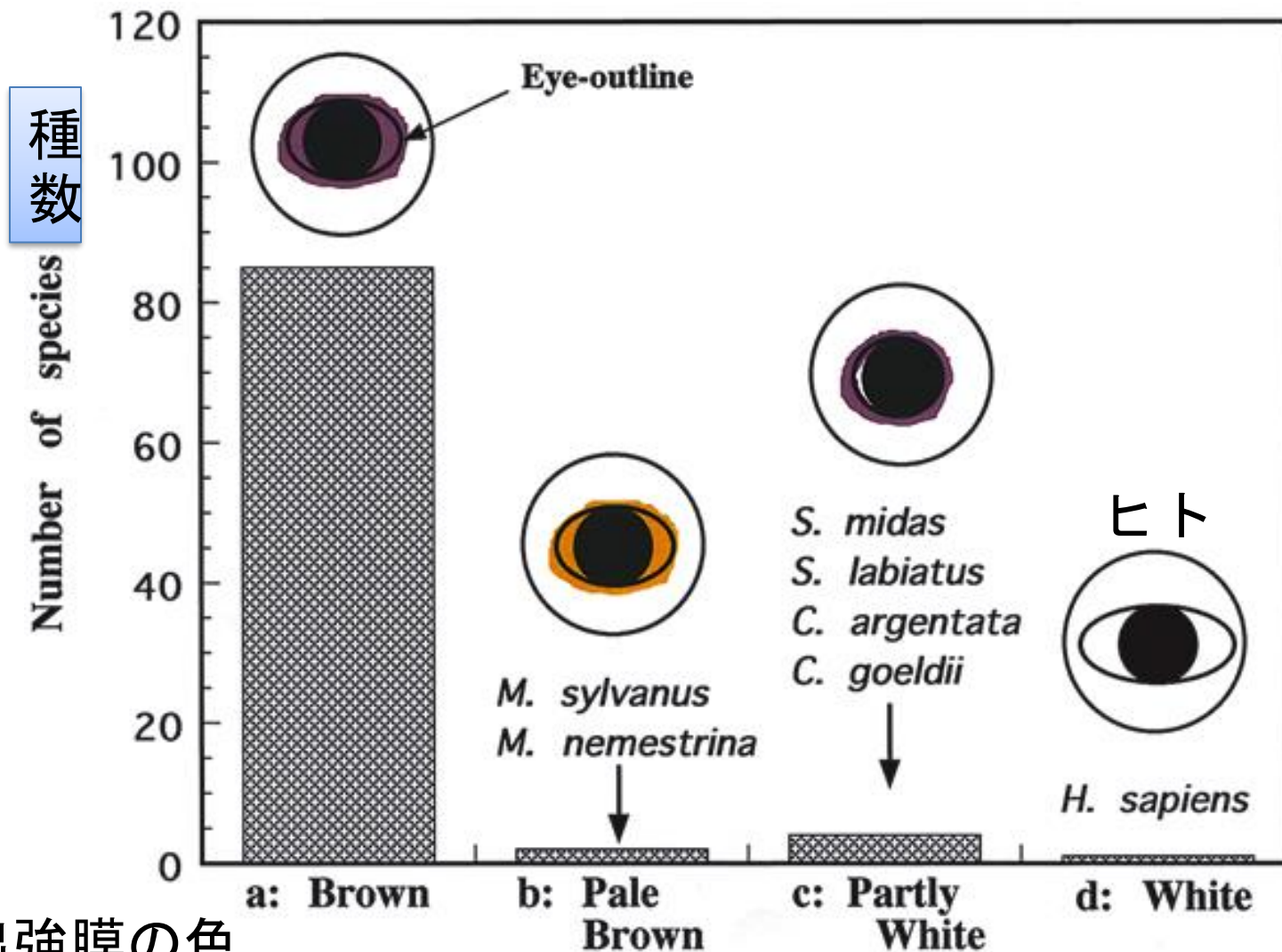
b 水平方向／垂直方向



横長度

横長度の高い種ほど
眼球を水平に動かす

ヒト以外の霊長類の白目は白くない
色素で着色されている



露出強膜の色

白目がある（露出強膜に色素がない）のはヒトだけ

白目（露出強膜）：なぜ着色？

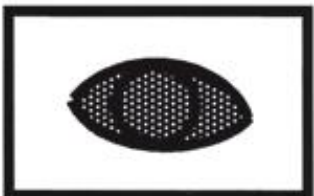
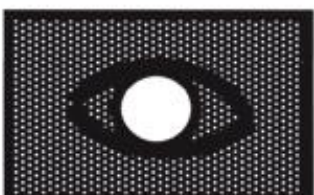
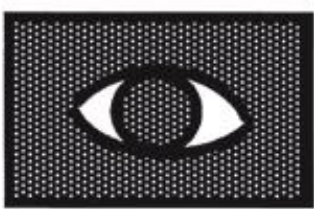
- (1) まぶしさを防ぐ ⇔ 夜行性の種も着色
- (2) 視線隠蔽（視線をわかりにくくする）



大部分の霊長類は視線隠蔽型色彩 ヒトだけが視線強調型色彩

視線のわかりやすさ

顔:強膜:虹彩 目の位置 虹彩の位置

Type1		Face≈sclera≈iris	×	×	Woolly monkey 	Mandrill 
Type2		Face<sclera≈iris	○	×	Japanese macaque 	Squirrel monkey 
Type3		Face≈sclera>iris	×	○	Ruffed lemur 	
Type4		Face>sclera<iris	○	○	Japanese 	
					Caucasian 	African 

ヒト：コミュニケーションのための目



オオカミ：視線強調

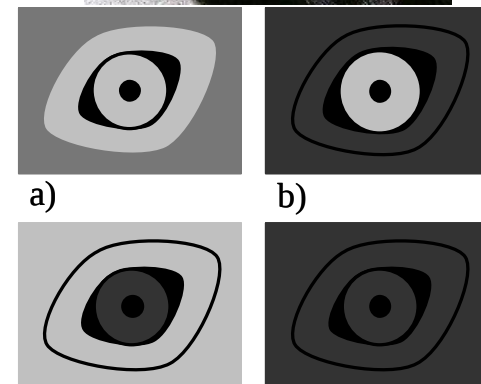


タヌキ：視線隠蔽



オオカミは目で語る？

Ueda S, Kumagai G, Otaki Y, Yamaguchi S, Kohshima S (2014)
A Comparison of Facial Color Pattern and Gazing Behavior in
Canid Species Suggests Gaze Communication in Gray Wolves
(*Canis lupus*). PLoS ONE



Orangutan



Human



オランウータンの目は
ヒトによく似ている



left



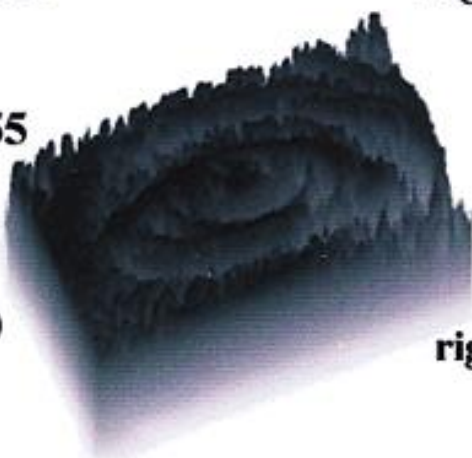
right

樹上性なのに？

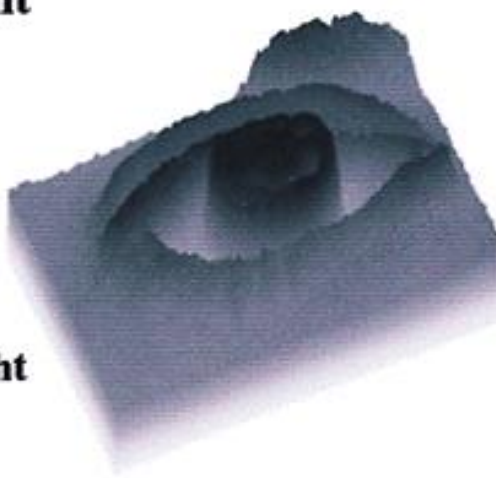
Black 255



White 0



left



right

0-3 years old



a: Infant-face

4-7 years old



b: Juvenile-face

8-10 years old



c: Adolescent-face
(female)

8-10 years old



d: Adolescent-face
(male)

コドモ

ワカモノ

(male)

11-20 years old



e: Young-female

ワカメス

21- years old



f: Adult-female

-face

オトナ

11- years old



g: Flanged-male

-face

11- years old



h: Unflanged-male

劣位オス

成長による形態の変化: 視覚コミュニケーション?

Kuze, N., Malim, T. I., Kohshima, S., American Journal of Primatology, 2005

ボルネオ・ダナンバレーでの 野生オランウータン研究



Feeding Ecology of Bornean Orangutans (*Pongo pygmaeus morio*)
in Danum Valley, Sabah, Malaysia: A 3-Year Record Including Two Mast Fruitings.
Kanamori T, Kuze N, Bernard H, Malim TP, Kohshima, S. (2010)
American Journal of Primatology 71: 820-840.

オランウータンは何をどのくらい食べているのか？

Kanamori T, Kuze N, Bernard H, Malim TP, Kohshima, S. (2010)
American Journal of Primatology 71: 820-840.

比較的少数の植物種を集中利用



一斉結実後の果実欠乏期：
小数種の樹皮や葉に依存

イチジクとスパトロブス(つる植物の一種)

■ 特に果実欠乏期に利用→「Fallback food」

- Fallback food = 果実欠乏期にその地域に生息する動物を支える食物

イチジクの果実



Ficus (MORACEAE)

スパトロブスの若葉



Spatholobus (FAGACEAE)

果実欠乏期にオランウータンの命をつなぐ
Fallback food (救荒食)

保全への貢献

■ 環境への影響を軽減した伐採法 (Reduced Impact Logging)

- 伐り残すように指定されている有用樹約11属には
主に利用される食物植物が2属しか含まれていない

(*Durio spp*、*Dacryodes spp*)

- 「伐採前に蔓植物を切断」

欠乏期の重要な食料であるイチジクやスパトロブスも切断されている



オランウータンのために残す有用樹種の再検討が必要

- 野生動物の生態や行動を理解することなしに、
その保全やヒトとの共存を実現する事はできない。

保護区の設置・管理、伐採法、自然復帰プログラムの改善

熱帯林から南極まで、海中からヒマラヤまで、 自然をフィールドワークする野生動物研究センター

陸



サイ



アジアゾウ



アフリカゾウ

海



イルカ



京都大学創立111年

基礎研究と
教育を通じ
た社会貢献
保全と福祉



シャチ

空



アホウドリ 復活の鳥



世界自然遺産、屋久島



天然記念物、幸島

1958年のアフリカ探検（今西錦司）
南極越冬隊（西堀栄三郎）チョゴリザ初
登頂（桑原武夫）から50年に及ぶ京大
のフィールドワークの伝統を再生する



1958

京都大学野生動物研究センター



2008年に設立

大型動物研究を軸とする熱帯生物多様性保全国際研究拠点

世界の三大熱帯雨林をカバーし、主要メガ・ダイバーシティ国をつなぐ

日本を核とする熱帯生物多様保全国際協力ネットワーク



中国
中山大学

対等な関係による
共同研究と人材育成
日本

インド
インド科学大学



ブラジル
国立アマゾン研究所

イギリス
ケンブリッジ大学
オックスフォード大学



京都大学
野生動物研究センター
霊長類研究所
アジア・アフリカ地域研究研究科
学術情報メディアセンター
東京大学、名古屋大学、神戸大学
東海大学、東京農業大学
学習院大学
総合研究大学院大学

インドネシア
ボゴール農科大学



マレーシア
マレーシア科学大学
マレーシア・サバ大学



アフリカ
タンザニア、コンゴ
ガボン、ウガンダ

国際生物多様性保全プラットフォームへ

大型動物(アンブレラ種)研究・日本での研修とセミナー・国際ワークショップ

大型動物研究を軸とする 熱帯生物多様性保全の国際研究拠点



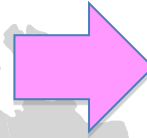
アジアゾウ



オランウータン

熱帯林:
生物多様性の
ホットスポット

森林開発
気候変動



多様性保全が
国際的急務
特に大型動物
(アンブレラ種)

急速な経済発展

ブラジル・インド
中国・マレーシア
インドネシア
メガ・ダイバーシティ国

絶滅危惧種
アンブレラ種
種子散布者
フラッグシップ種

絶滅危惧種
アンブレラ種
種子散布者
フラッグシップ種

大型動物の保全には
長期継続研究と
現地研究者育成
生息地型動物観察施設
(フィールドミュージアム)
が不可欠



マレートラ



アマゾンカワイルカ

フィールドミュージアム：自然生息地型動物観察施設 オランウータン野生復帰事業（マレーシア）

野生復帰：飼育・半飼育・野生環境での観察・研究が必要



自然環境に適応させ、適応の程度を確認する必要



マレー半島、湖の小島（7ha）

要請により、3個体を放して、行動・生態調査中



ベラム・テメンゴール森林
マレー半島最古の森
生物多様性ホットスポット

研究・教育・エコツーリズム（地域社会）
他の生物の保全にも有用



より大きな島を利用する予定

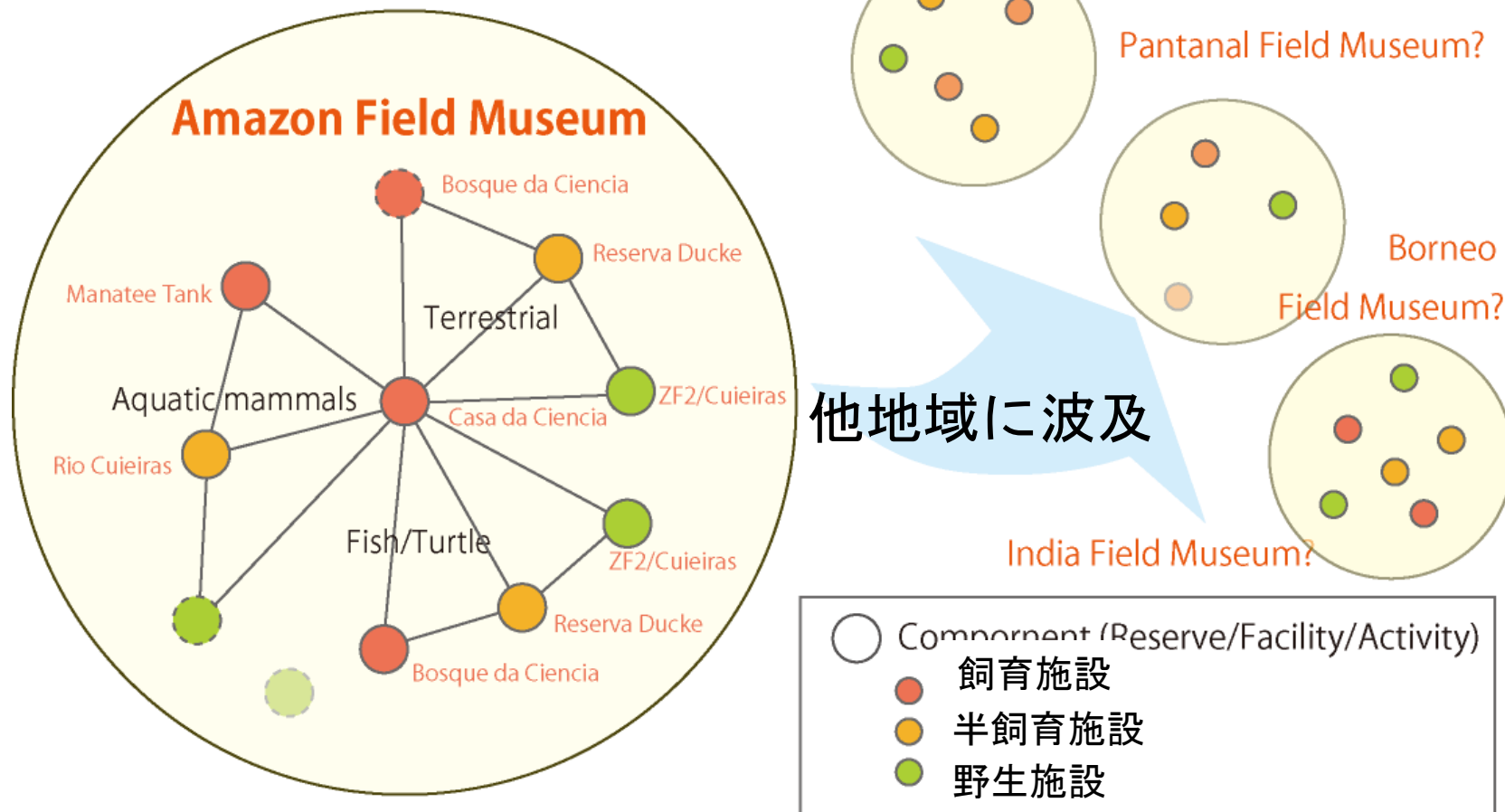
従来型動植物園・水族館

- 主に海外の珍しい動植物を展示
- 主に娯楽を提供
- 人工的飼育環境
- 人間の視点・都合による設計
- 一カ所に大規模施設
- 研究や教育の専門家少ない
- 研究・保全・教育機能の不足

フィールドミュージアム

- 主にその地域の動植物やその生息環境そのものを研究・保全・展示
研究・保全活動も展示
- 地域生態系に関する正確で最新の情報や豊かな自然体験、研究・保全への理解や参加の場を提供
- 自然生息地の利点を活かし、自然に近い飼育環境、地域の自然環境の一部をうまく利用した半飼育、野生環境での観察・研究・展示施設ネットワーク
- 生物の視点・都合に合わせた設計
- 市民参加型研究・保全・教育の拠点 地域社会の持続的発展のための拠点

“フィールドミュージアムとは”



フィールドミュージアムは、地域生態系の研究と保全、環境教育のために、野生生物の自然生息地（アマゾンやボルネオ）に整備された保護区と自然観察施設のネットワークである。地域の様々な生物を飼育、半飼育、野生環境下で観察・研究・保全できる場であり、研究や保全活動への理解と市民参加を進める拠点ともなる。また、エコツーリズムの拠点、地域住民や専門家の職場として地域経済にも貢献できる。

「“フィールドミュージアム”構想によるアマゾンの生物多様性保全」

アマゾン・フィールドミュージアム

自然生息地型観察研究施設と保護区のネットワーク

- **水生哺乳類施設**：
マナティー、カワイルカ類などの、飼育施設、半飼育施設、保護区整備、観察・展示技術開発
- **魚類・水生生物施設**：
観察・展示技術開発、生息地型水族館、小河川生物施設、大型魚類半飼育施設、大河川生物施設(水上？)
- **森林生態系施設**：
森林上層部観察研究施設、樹上センサーカメラ網、開放型植物園・昆虫園(butterfly gardenなど)、浸水林観察施設
- **自立的運営・活用のための社会システム構築**

アマゾンのフィールドミュージアム

クイエiras フィールドステーション

マナティーセンター(半飼育)
浸水林観察施設など

クイエiras FS

熱帯雨林上層部観察タワー
(ZF2タワー)

INPA科学の森
魚、カメ、サル
マナティー飼育施設
科学の家展示施設など

水上観察施設?
(水中音など)

カワイルカ施設
ドルフィンスイム

MUSA植物園

開放型植物園・昆虫園など

ブラジル アマゾナス州 マナウス

アマゾン川本流

N



Google Earth より



研究・保全・教育・市民向けエコツーリズムの拠点に

リスザル



フタイロタマリン



INPA 科学の森

マナウス市内の環境教育拠点



アグーチ



改修前



「科学の家」の展示改修



改修後



クイエイラス・フィールドステーション

INPA保護林に設置した研究・教育・エコツーリズムの拠点

2018年5月8日に開所式



宿泊棟



ビジターセンター



ピューマ

ブラジルバク

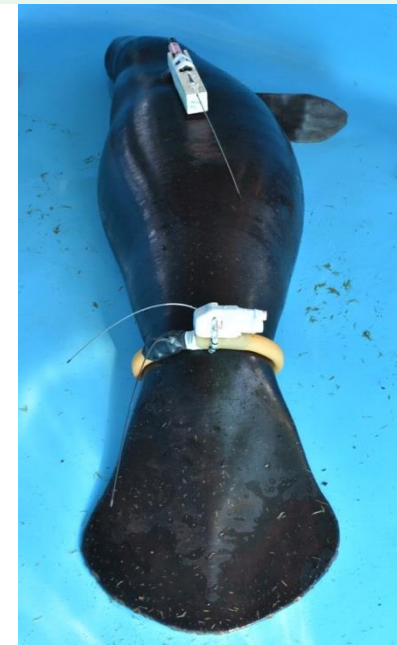
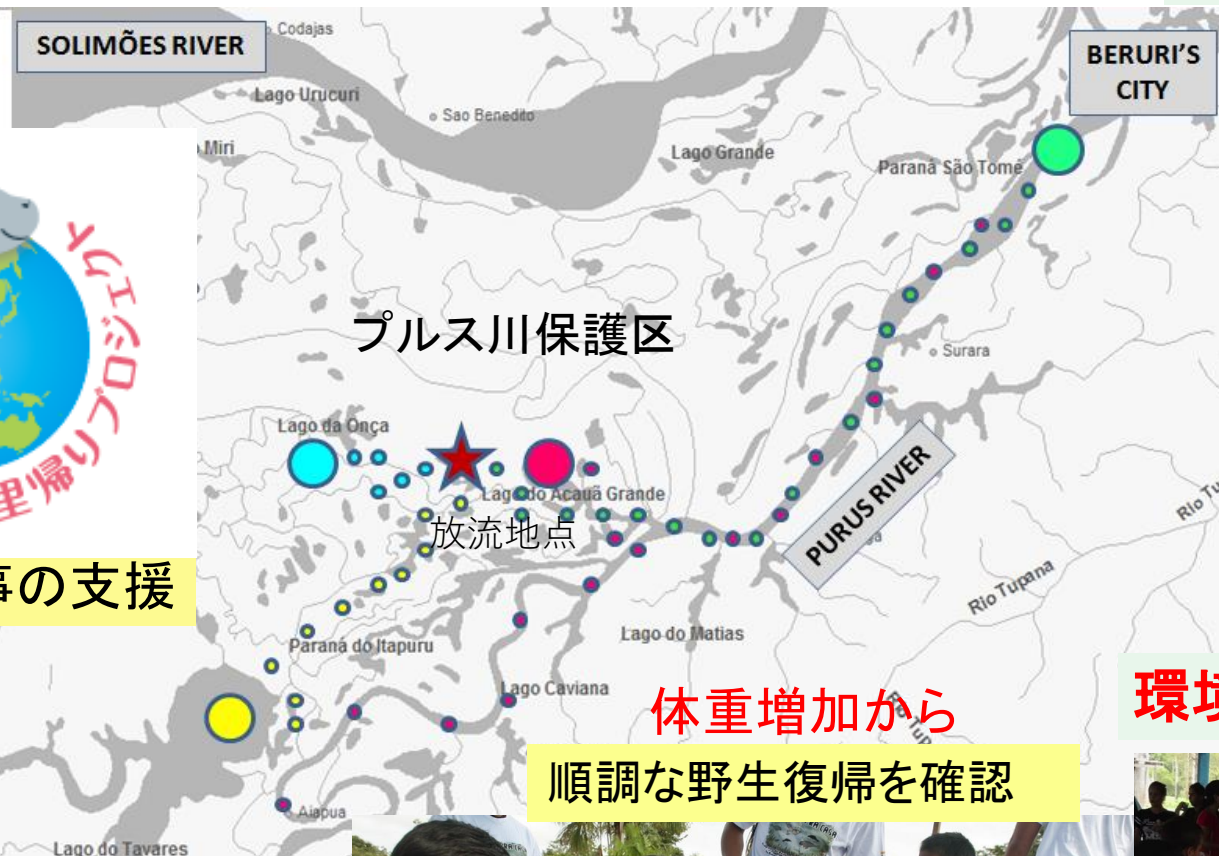
熱帯雨林上層部観察タワー
(ZF-2タワー：40m+10m)



アマゾンマナティの野生復帰事業

既に31頭を放流

★ 放流地点
● 確認地点



伊藤忠商事の支援

体重増加から
順調な野生復帰を確認

環境教育プログラム

元猟師による
放流マナティの
モニタリング



INPA飼育施設

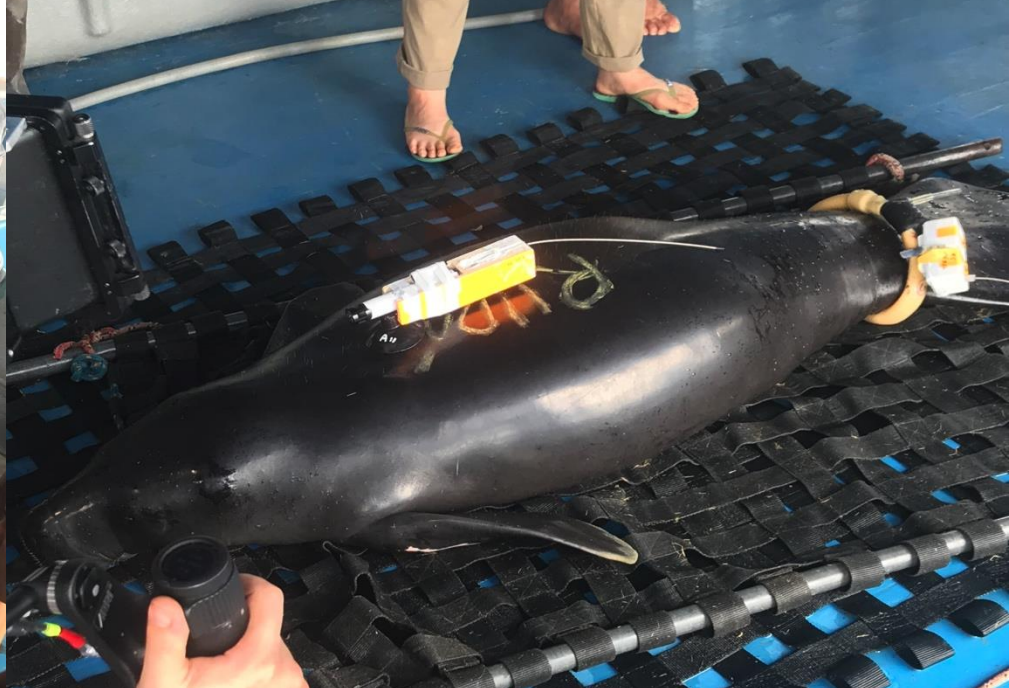


マナカプル半野生施設



プルス川, ピアガスプルス保護区





これまでの研究（幸島研究室）

見たい！

知りたい！

わか

- 雪氷生物学

雪氷圏、特に氷河生態系の生態学

雪氷生物を利用したアイスコア解析

雪氷生物のアルベド改変効果

- 生態学・行動学（クジラ<-->ヒト <--> 植物<--> 微生物）

氷河：昆虫、ミジンコ、ミミズ、藻類、菌類、バクテリア

陸上：マメジカ、オランウータン、サイ、インコ、ヒト

オオカミ、ヤマアラシ、シベット、ゾウ、ドール

海洋：シャチ、イルカ、アザラシ、ウニ、オニヒトデ

河川：ネオンテトラ、セッケイカワゲラ、カワイルカ

植物：クスノキ、アカメガシワ、キリ、ヤブカラシ、ツタ

1. Pioneer work 2. All round 3. Complete

チベット・カンペンチン峰（7281m）

京都大学西藏高原学術登山隊
頂

1982年4月初登

京都大学学士山岳会

