

体系理解科目「地球環境変動論-温暖化概論」

2011. 10. 25

古気候

中塚 武

名古屋大学環境学研究科
地球環境科学専攻・地球環境変動論講座

目次

- 1) 「温暖化」の理解のために、何故、古気候(過去の気候変動)についての研究が必要なのか？
- 2) 古気候学とは、どういう学問か？
- 3) 過去の気候変動に見られる「温暖化」の背景
— 過去数10万年、過去数百年...

地球温暖化予測における「古気候学」の役割

★過去は、未来を予測するための鏡である。

反論

今起きている気候変動は、過去には起きていなかった
ので、過去の経験は、役に立たないのでは？

提言

1. 遠い歴史を紐解けば、**現在～未来と同じ状況も、過去にあった** (ex. CO₂濃度の高かった第三紀)。
2. **自然変動と人為変動を分離して理解するには**、人間活動の影響の無い時代(過去)の気候変動のメカニズムを、まず理解する必要がある。
3. 未来を予測する**気候モデルの能力の検証**のためには、長期に亘って過去に遡る、気候変動のデータが必要である。

温暖化問題を理解する上での現在の気候学の限界

(1) 信頼できる過去の気候データが、「得られる**期間**」が短い。

***気象測器による観測は、ほぼ過去100年のみ。**

→**長周期の自然の気候変動**や、それに対する**氷床・植生などの応答**、その**気候へのフィードバック**等は、検討の対象外。

(2) 過去の気候データが、「得られる**場所**」も、限られている。

***そもそも、現在でも、地球上には観測の及ばない地域は多い。**

→温暖化予測の最も重要な役割の1つである、「**地域ごとの精密な気候変化**」の検討ができない。

代替記録からの長期気候
変動情報の重要性

古気候学とは？

古気候学とは、**樹木年輪、サンゴ年輪、鍾乳石、アイスコア、泥炭堆積物、湖沼堆積物、海洋堆積物、古文書などの試料(資料)**を使って、近代的な気象観測が行われていなかった、**過去の時代の気候を復元する学問。**

多くの場合、試料自身の**外観(年輪幅など)**、試料の中に含まれる**化石、花粉、鉱物、原子・分子などの組成、形状、サイズ**などから、過去の気候を復元する。

いろいろなものを使う、非常に多様な学問分野である！

古日記から古天気を復元する例

水越尤治「古記録による15世紀の天候記録」より

1468年3月 応仁2年1月28日～2月28日 天気表

日	付	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日
和	暦	1月28日	1月29日	1月30日	2月1日	2月2日	2月3日	2月4日	2月5日	2月6日	2月7日	2月8日	2月9日	2月10日
資	料名													
後	知				晴	晴陰、朝 間小雨降	朝間白雪 飛散、即 止	晴	晴	晴	晴	晴	晴陰、申 刻計少雨	晴
後	法	晴陰不定	夜来降雨、 亥刻許止	晴、風吹	陰	夜来小雨 瀟	晴陰、朝 間小雪散 風吹	晴陰	天晴	霽	晴	晴、自未 刻許雨時 々瀟	晴陰、自 未刻雨雪 交降	晴陰、吹 微雪
碧	山		午而雨下										午而雨下	
山	科	天晴	夜ヨリ雨 下、事外 風雨也	天晴	天晴	天晴	天晴	天晴	天晴	天晴	天晴	天晴、夕 雨	天晴	天晴
経	覚		雨下	霽	天曇、夕 雨下	雨	霽、自夜 事外寒嵐 也、葛木 山以下在 雪				霽	霽、但夕 雨下、山 者雪散云 々	天曇、夕 雨	葛木山雪 ヲ見、夜 雨霽也
氏	経				雨微濛									

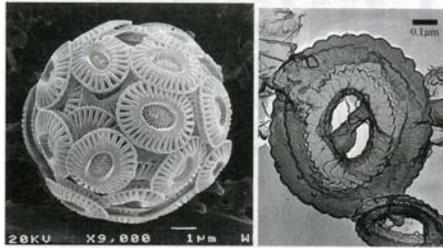
日本各地の過去数百年に亘る天気の記録が、日単位で、既にデータシート化。

【利点】 時間解像度が高い(気候ではなく、気象を復元可能)

【欠点】 データが主観的、定性的。

海底堆積物の分子組成から古水温を復元する例

★アルケノン古水温計



「海と環境」日本海洋学会編、講談社サイエンティフィク

パプト藻(円石藻)という微細な植物プランクトンが作る特殊な有機分子(アルケノン)の分子構造(分子の中の不飽和結合の数)が、その分子の生成時の水温を正確に反映しているという特殊なメカニズムを、応用。

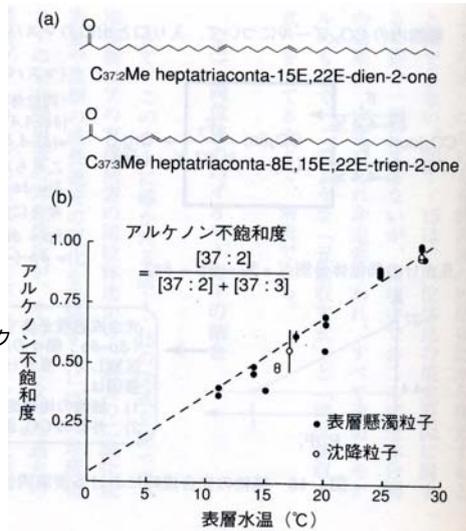


図1-14 アルケノンの分子構造 (a) と海洋の懸濁・沈降粒子中のアルケノン不飽和度と表層水温の関係 (b) [Prahl and Wakeham らのデータに加筆]

最もよく使われる古気候復元のチャンピオンとは？

【酸素同位体比 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 】

<その背景>

1. 酸素は、水の中に含まれており、水は、気候変動の主役である
2. 水の相変化、水と他の物質の反応時等に、規則的な酸素同位体比の変化(同位体分別)が生じる。
3. 酸素は、さまざまな物質に含まれ、記録として残りやすい。

★有機物(樹木年輪)、炭酸塩(サンゴ年輪、鍾乳石、微化石の殻)、氷(氷床コア)など

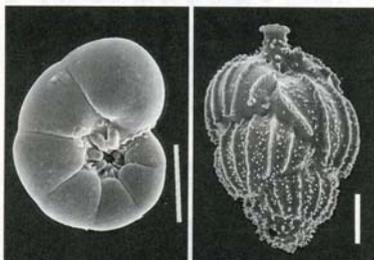
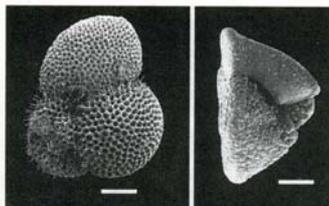
酸素同位体比による古気候の復元例 - 2大成功例

1. 深海底堆積物の柱状試料(コア)の中の有孔虫の殻(炭酸カルシウム CaCO_3)に含まれる酸素の同位体比から、過去数万～数千万年に亘る氷河期と間氷期の変動を復元

2. 南極やグリーンランドの氷床から掘り出した氷の柱状試料に含まれる氷(H_2O)の酸素の同位体比から、過去数十万年に亘る極地の温の変動を復元

→それぞれ、今日の古気候学の標準となるデータを提供してきた。

浮遊性(海洋表面に居る)



底生(海底の泥中に居る)

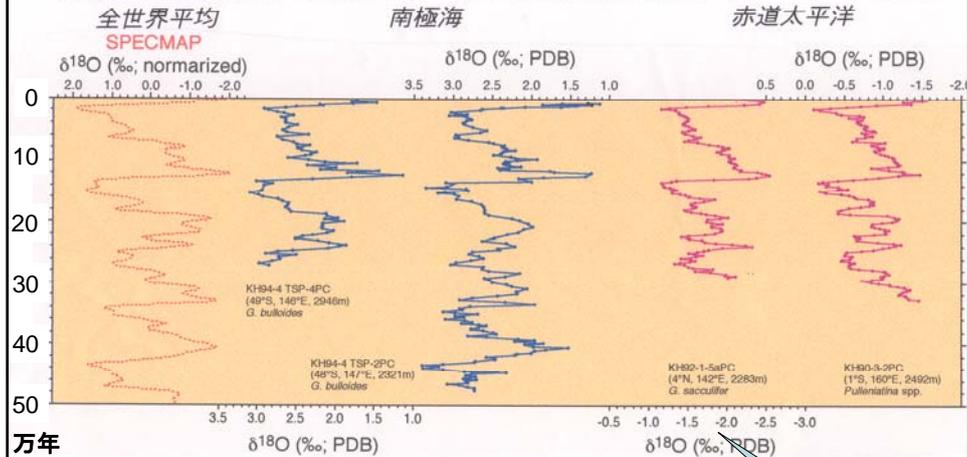
(図中の白線の長さは、0.1mm)

有孔虫とは？

- ・海の中のどこにでも生きている原生動物。莫大な数の種類が存在する。
- ・サイズは、主なものは、0.1mm～0.5mm程度。
- ・炭酸カルシウム(CaCO_3)の殻をもつことが多い。
- ・有孔虫の殻の酸素や炭素の同位体比を分析すると、彼らが生息していた、時代・水深の環境情報を、読み解くことができる。

★酸素や炭素の同位体比が、古海洋環境の指標になるだけでなく、有孔虫の種類組成からも、水温や塩分などが復元できる。

有孔虫の炭酸塩 (CaCO₃) 殻の酸素同位体比 (δ¹⁸O) の記録



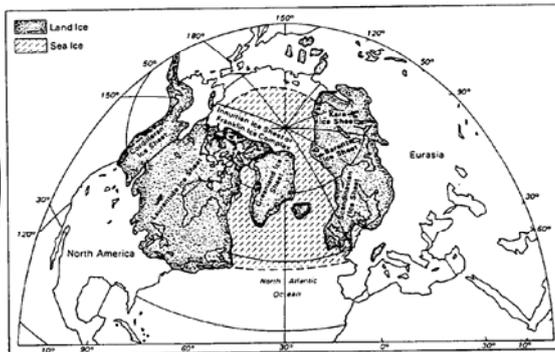
全世界どこでも基本的に同じパターン (→氷期・間氷期解析、
→パターンから絵あわせで年代決定！)

つまり、このデータは、海水自身の
酸素同位体比の変動を記録している！

X軸は
左右逆

・氷河期（最近では約2万年前にMax）には
北米大陸とヨーロッパ大陸に巨大氷床出現。

海水の
酸素同位
体比を、全
地球的に
変動させ
るメカニ
ズム

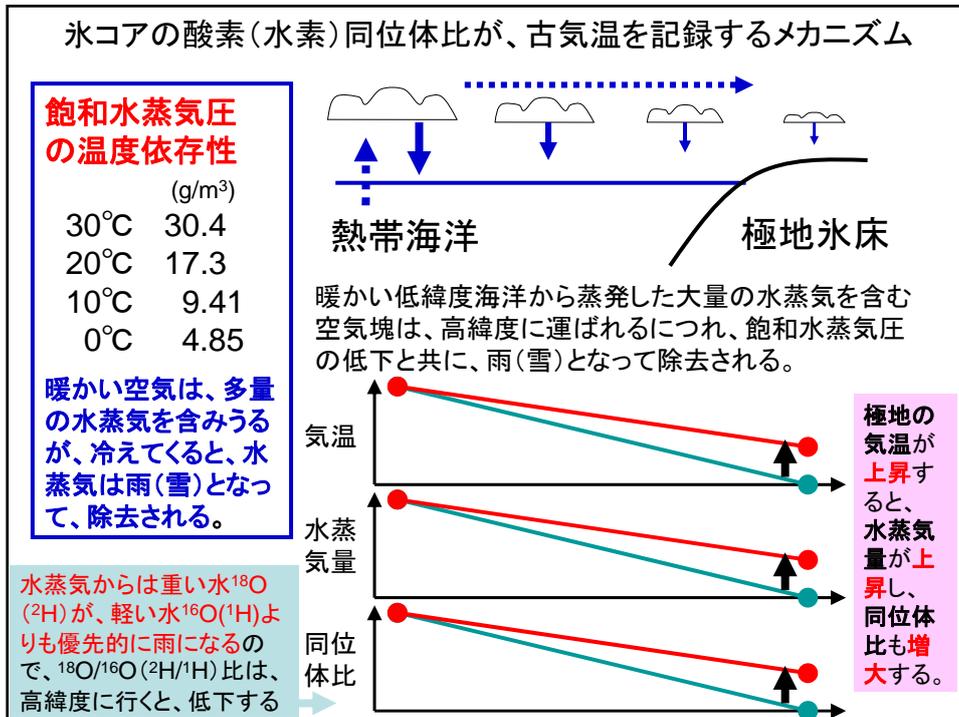
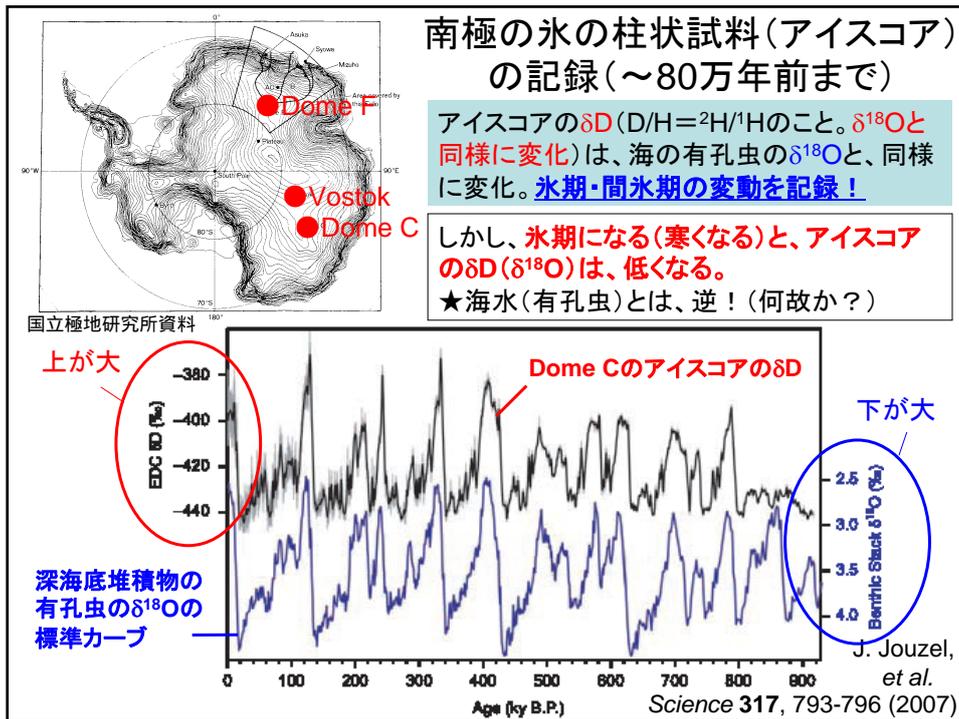


大陸氷
床の拡大
と縮小
=氷期・
間氷期
変動

Crowley and North "Paleoclimatology" Oxford University Press (1991)

→海水面が、全世界で約120m下がった（平均水深4000mと
して、約1/33海水が減る）。

→その結果、塩分が約1%（平均34→35）上昇。変わった
のは塩分だけではない。海水の酸素同位体比も！



アイスコア分析の特長

1. グリーンランドでは、1年刻み(酸素同位体比の季節変化がコアの中に記録として残っているから)の解像度を持つ。南極ではちょっと無理。
2. 氷の中の気泡は、過去の大気の化石である！

過去40万年間以上、気温と温室効果ガスの濃度の間には、高い相関が有る

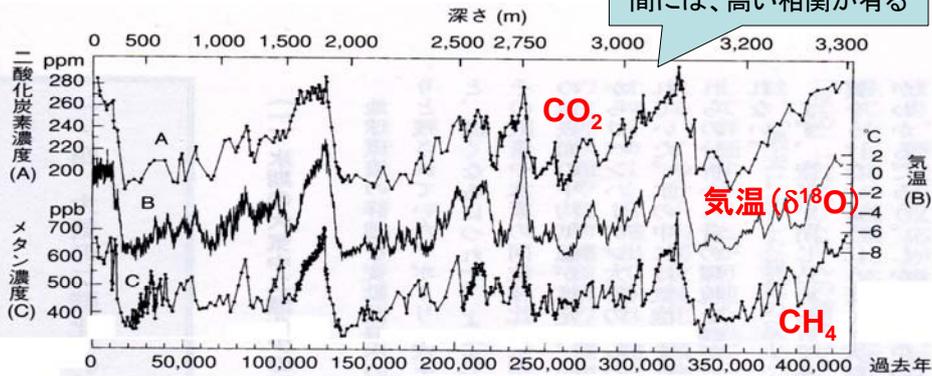
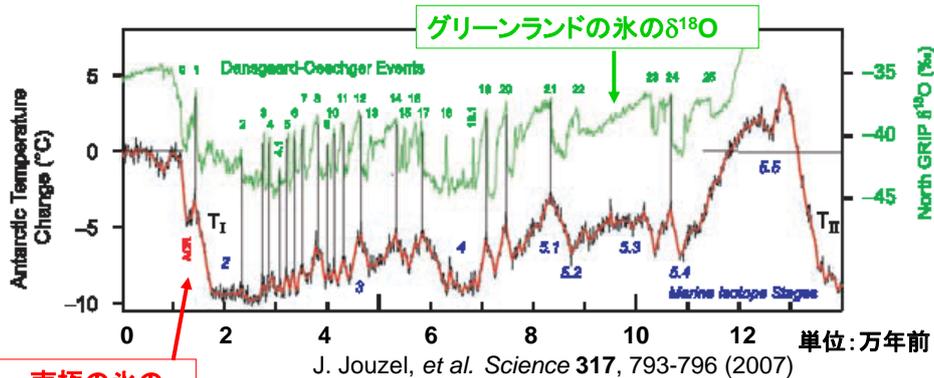


図1-17 ポストーク基地の氷床コアから再現された過去40万年にわたる大気中の二酸化炭素とメタン濃度の変動
[Petit, J. R. et al. (1999), Nature, 399, 429より引用] **南極ポストークコアの場合**

南北両半球で氷を測って分ったことの1つ (南極とグリーンランドの同位体比のシーソー)

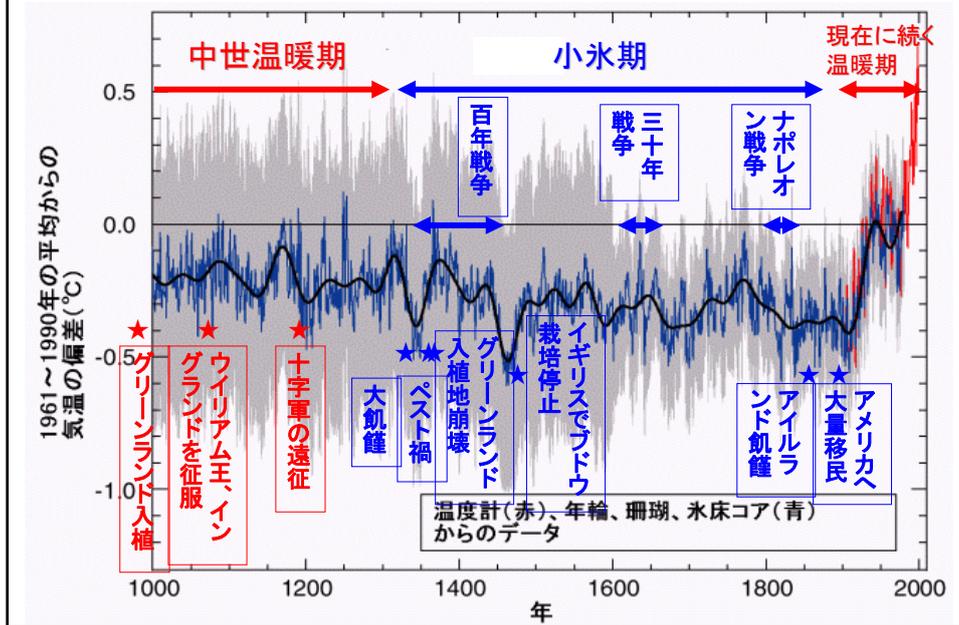


南極の氷の $\delta^{18}\text{O}$ (から計算した気温)

長期的な(1万年以上)の変動パターンは、南北で良く合致する。しかし、良くみると、1千年スケールの変動は、南北で、位相が逆転している。

★大西洋の海水の南北循環パターンが“千年周期”で逆転するから！

過去1000年間の北半球の気候変化とヨーロッパの歴史



過去千年間の
復元された
気候変化

IPCC(2007)
Climate Change
Physical Basis

気候変動
の主な
復元手段
は、
樹木年輪
の幅・密度

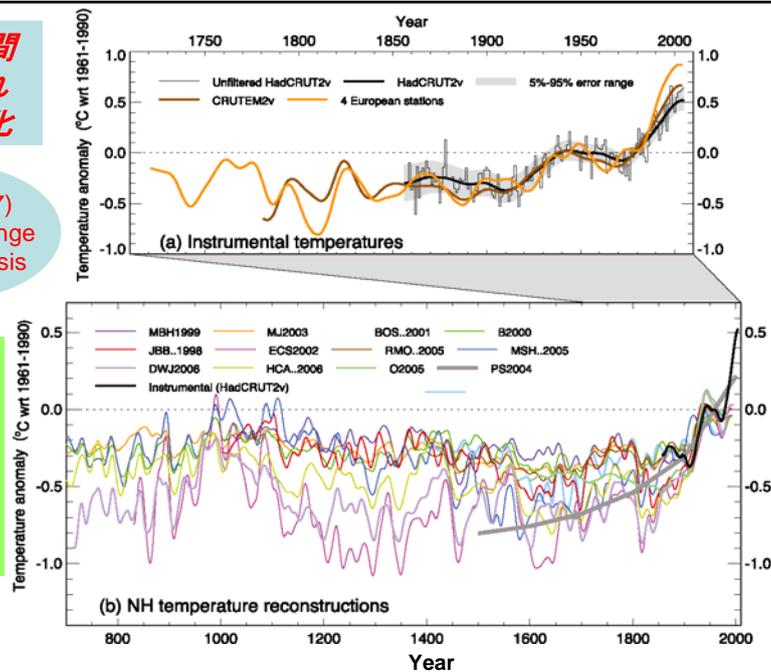
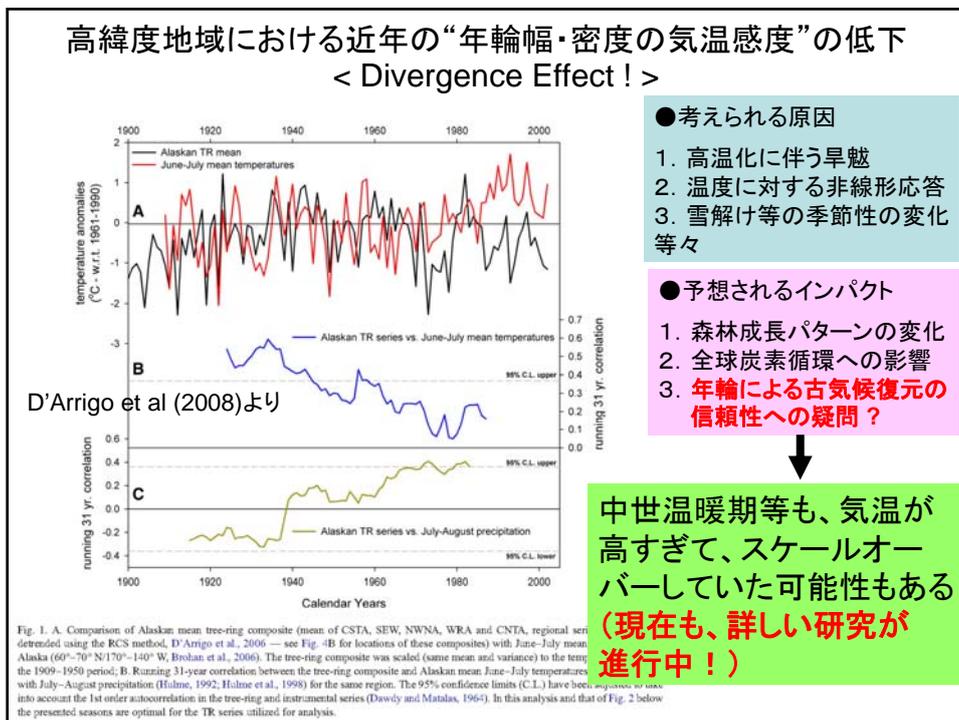
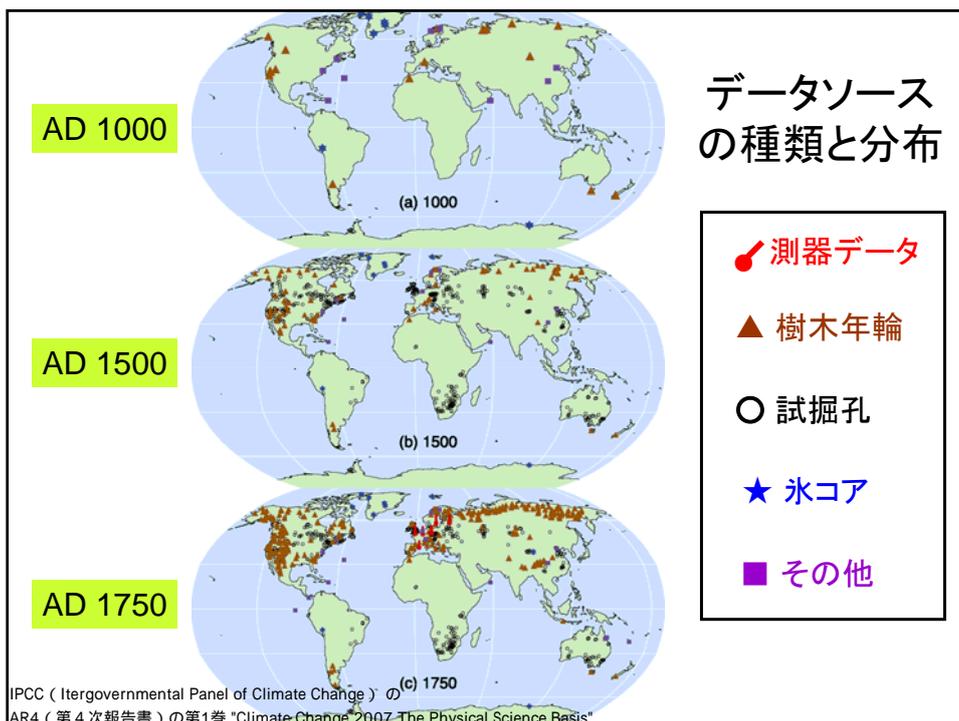
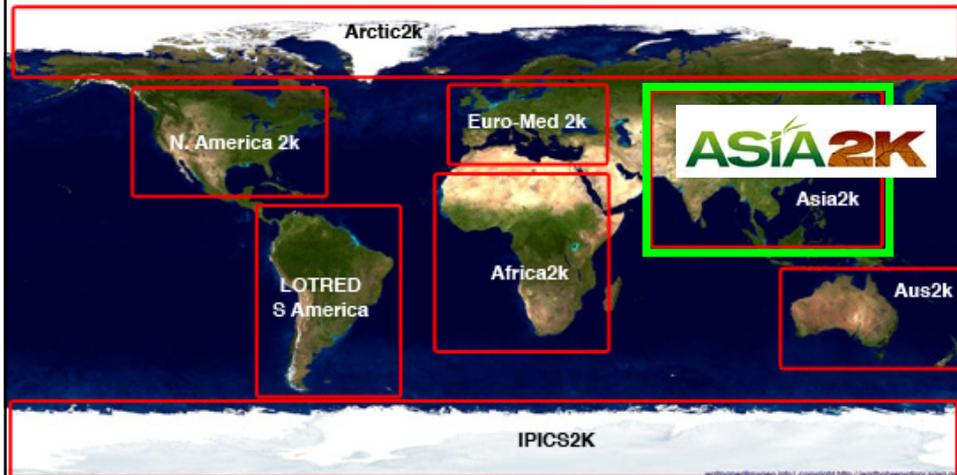


Figure 6.10. Records of NH temperature variation during the last 1.3 kyr.



2K Network in the World (World is divided into 8 regions).



<http://www.pages.unibe.ch/workinggroups/2k-network>

世界を8つの地域に分けて、それぞれの地域毎に、できるだけ詳細な空間解像度で、年(季節)単位～数10年単位の古気候データを取得する取り組み(2009～2013)が進行中。 < IGBP-PAGES Focus2 >

気候変動の原動力(時間スケール毎の分類)

●過去100万年の場合

- ★10万～100万年以上 【大陸の移動】・【生物の進化】
- ★1万年～10万年 【地球の自転・公転軌道】
- ★1千年～1万年 【海洋の熱塩循環】

●過去1000年の場合

- ★100年～1000年 【太陽活動】・【温室効果ガス・粒子】
- ★10年～100年 【太陽活動】・【大気海洋相互作用】
- ★1年～10年 【火山噴火】・【大気海洋相互作用】

赤字:人間活動による

青字:気候システムに内在した変動

気候変動の根本原因＝Forcing

気候システムの外にあって、一方的に気候に影響を与える因子のことを、“Forcing”という

●Forcingの代表例

- ・太陽活動(宇宙から) ・火山活動(地球内部から)
- ・地球の自転・公転の変化(宇宙と地球の関係)
- ・大陸移動(地球内部から)
- ・植生分布 ・氷床分布 などは、気候に影響を与えるが、それ自身、気候システムの一部なので、「Forcing」とは考えない。
- ・温室効果ガスは、どっちか？(自然生態系の応答であれば、前者で、人間社会の応答であれば、後者である!??)

気候を複雑化する因子＝内部変動

気候システムの内部構成要素であって、「大気」よりも、ゆっくりと変動する「海洋」、「氷床」、「生態系」などが、数年～数万年といったさまざまな時間スケールで変化することによって起こる、気候の変動や、気候のフィードバックプロセス。

●内部変動の代表例

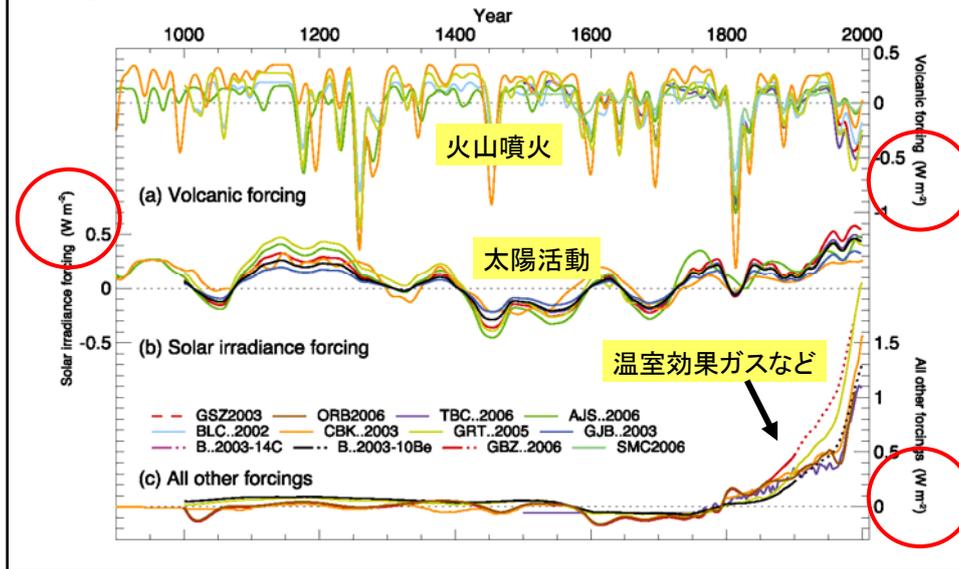
- 【海洋】 ・エルニーニョ南方振動 ・ダンスガードオシュガーサイクル
- 【氷床】 ・大陸氷床の盛衰とアルベド、アイスタシーの変化
- 【生態系】 ・温室効果ガスの変動 ・植生の変化とアルベド変化

★Forcingの変化が、直接効いているのか、内部変動なのか分らない現象もある(大方の研究者は、内部変動と思っているが...)

- ・北太平洋10年規模振動 ・北極振動 ・北大西洋振動 等々

IPCC
Climate Change 2007
The Physical Science
Basis より

過去1000年間のForcingの変化 —放射収支への影響 (W/m^2) で考える—



放射収支の概念図

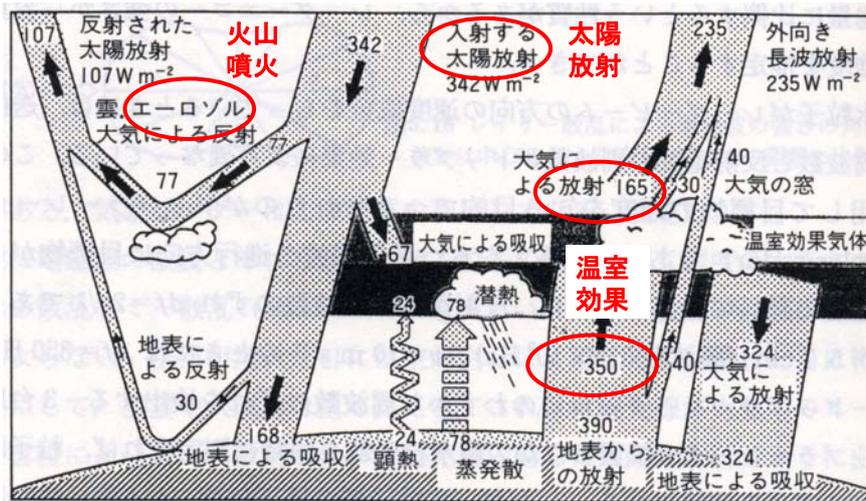


図5.17 地球のエネルギー収支 (IPCC, 1995)

気候のForcingとは、この放射収支の値を変える外的プロセスである

太陽活動の長期変動

- 太陽黒点数の11年周期が有名だが、長期変動もある -

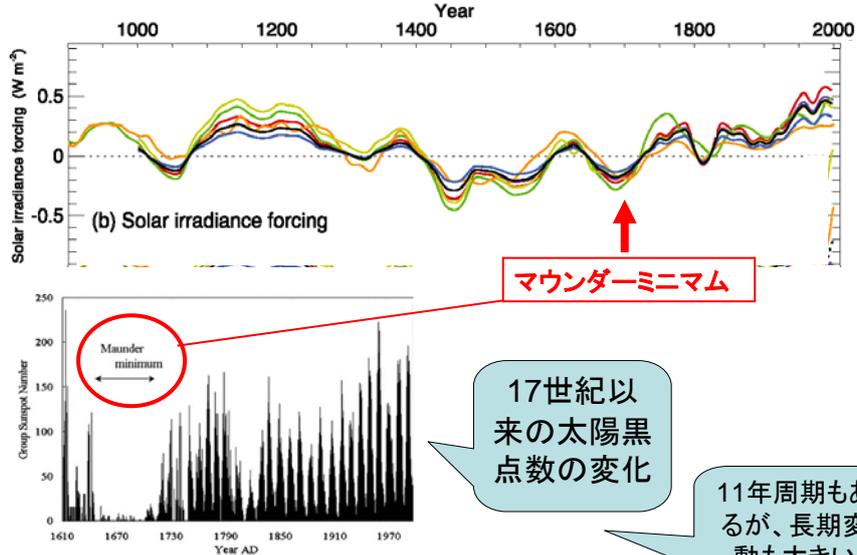
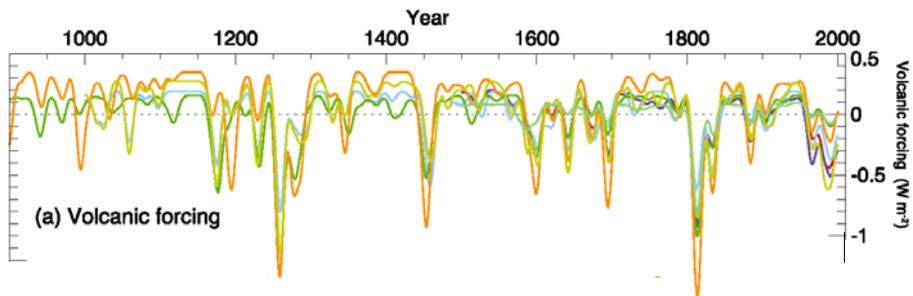


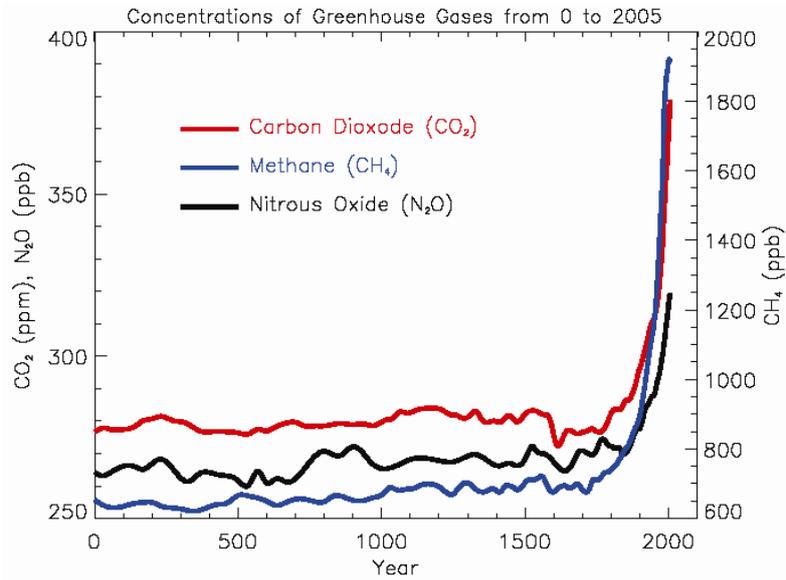
Figure 1. The monthly average sunspot number since 1610 AD (Hoyt and Schatten, 1998). The Maunder Minimum can be distinctly recognized around 1645-1715 AD.

火山活動の変動

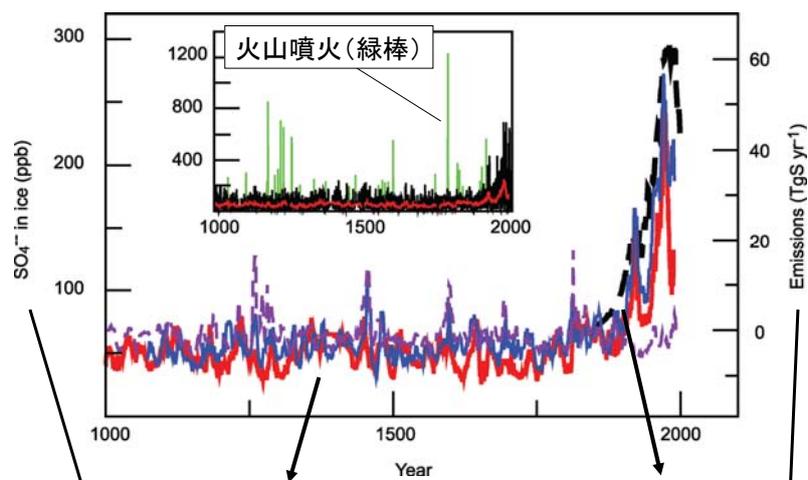


火山噴火は、いつも規則正しく均等に起きる訳ではない。完全に確率論的に起きる場合は、ポアソン分布になり、見かけ上、起きるときは、立て続けに起きるように見えるので、社会に大きな影響が生じる。
18世紀末～19世紀前半、20世紀後半など。

温室効果ガスの濃度の歴史的変化



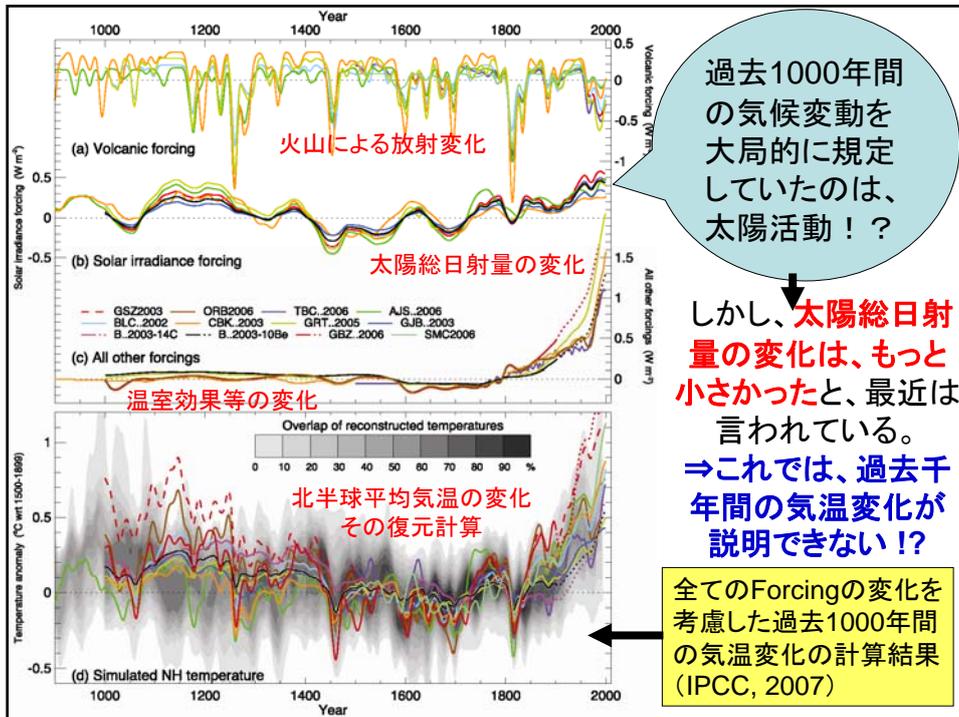
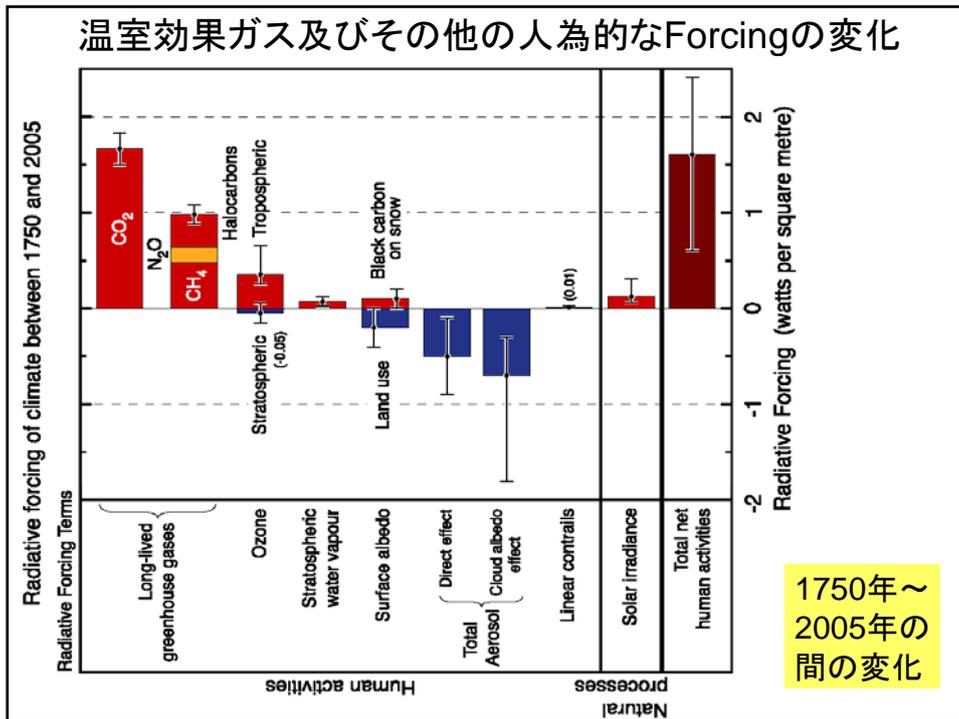
「反」温室効果の役割を果たす大気物質の存在



グリーンランド(赤・青)、南極(紫)の氷コア中の濃度

北半球の人為排出(破線)

温室効果ガス及びその他の人為的なForcingの変化



「太陽放射」に関する間接効果の存在の可能性

0) 総日射量の変化 → これだけでは、観測されている温暖化や過去千年間の気候変動を説明することはできない...

- 1) 太陽放射に含まれる**紫外線の変化** → **成層圏オゾン**の**加熱率の変化** → **対流圏**への影響
- 2) 太陽放射による**地球磁場の変化** → **銀河宇宙線の地球への入射量の変化** → **大気上空でのエアロゾル核の生成率の変化** → **雲量**への影響

間接効果

<間接効果の意義に対する2つの再反論>

(1) 1980年代以降は、太陽放射の増加率は鈍っているが、気温は急上昇している。(2) 温暖化に伴い、対流圏は昇温しているが、成層圏は、寒冷化している。これは、太陽放射の変化では、説明できない。

