

# 地球環境問題のトピックス

## 1. オゾンホール(Ozone hole)

南極でのオゾン層破壊 Chubachi (1984)  
Farman et al.(1985)

## 2. 地球温暖化

ハワイ・マウナロアでのCO<sub>2</sub> 増加

## 3. 広域放射能汚染

チェルノブイリ原発事故(1986年)

福島原発事故(2011年)

# 1. オゾンホール(Ozone hole)

- 南極観測の開始

1957年 国際地球観測年 IGY

- オゾン層破壊の発見

Chubachi (1984) 昭和基地でのオゾン全量の減少

Farman et al.(1985) 南極上空にオゾンホール出現

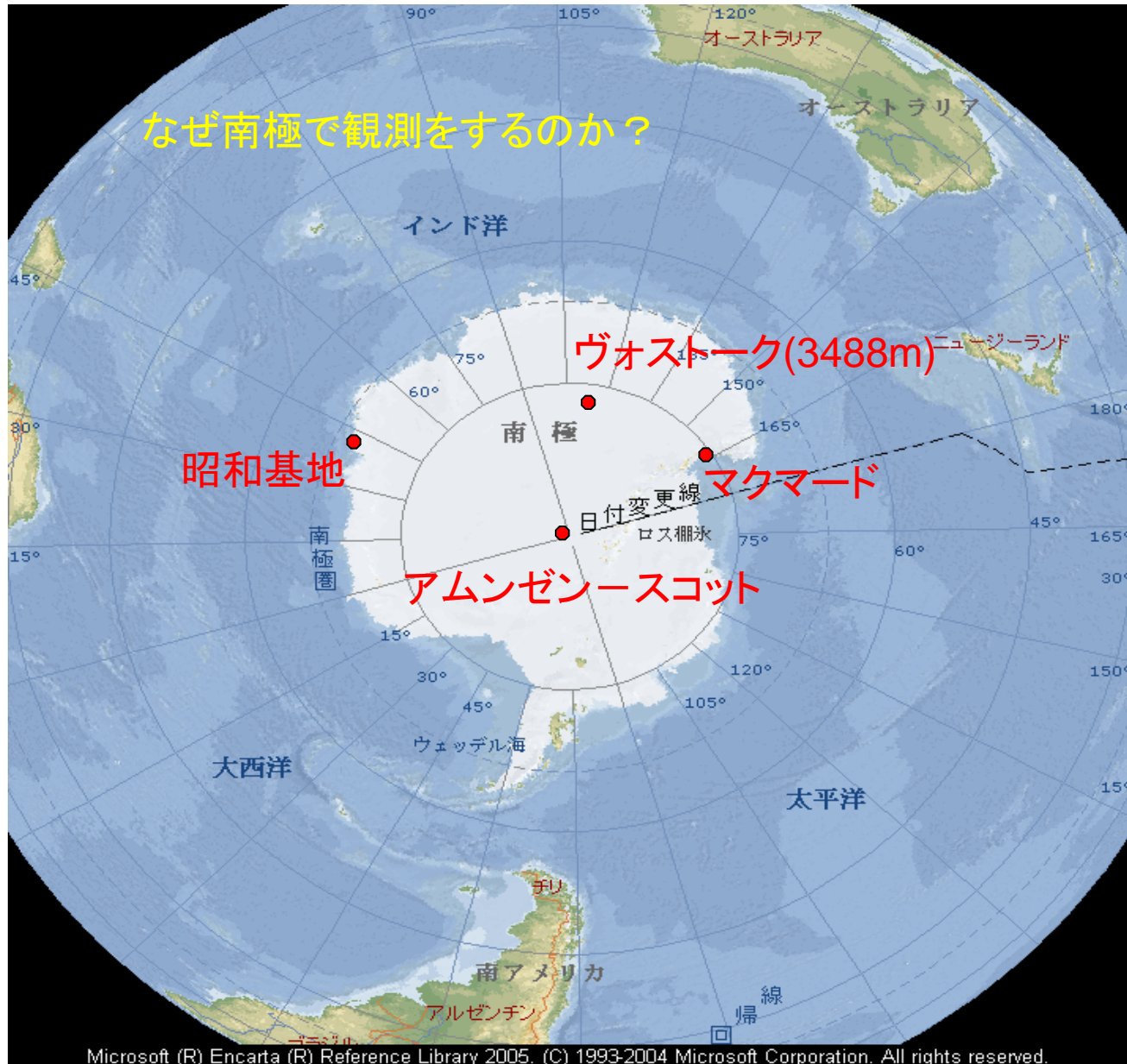
- メカニズム

Molina & Rowland (1974) > ノーベル化学賞  
フロンガスによる成層圏オゾン破壊の可能性

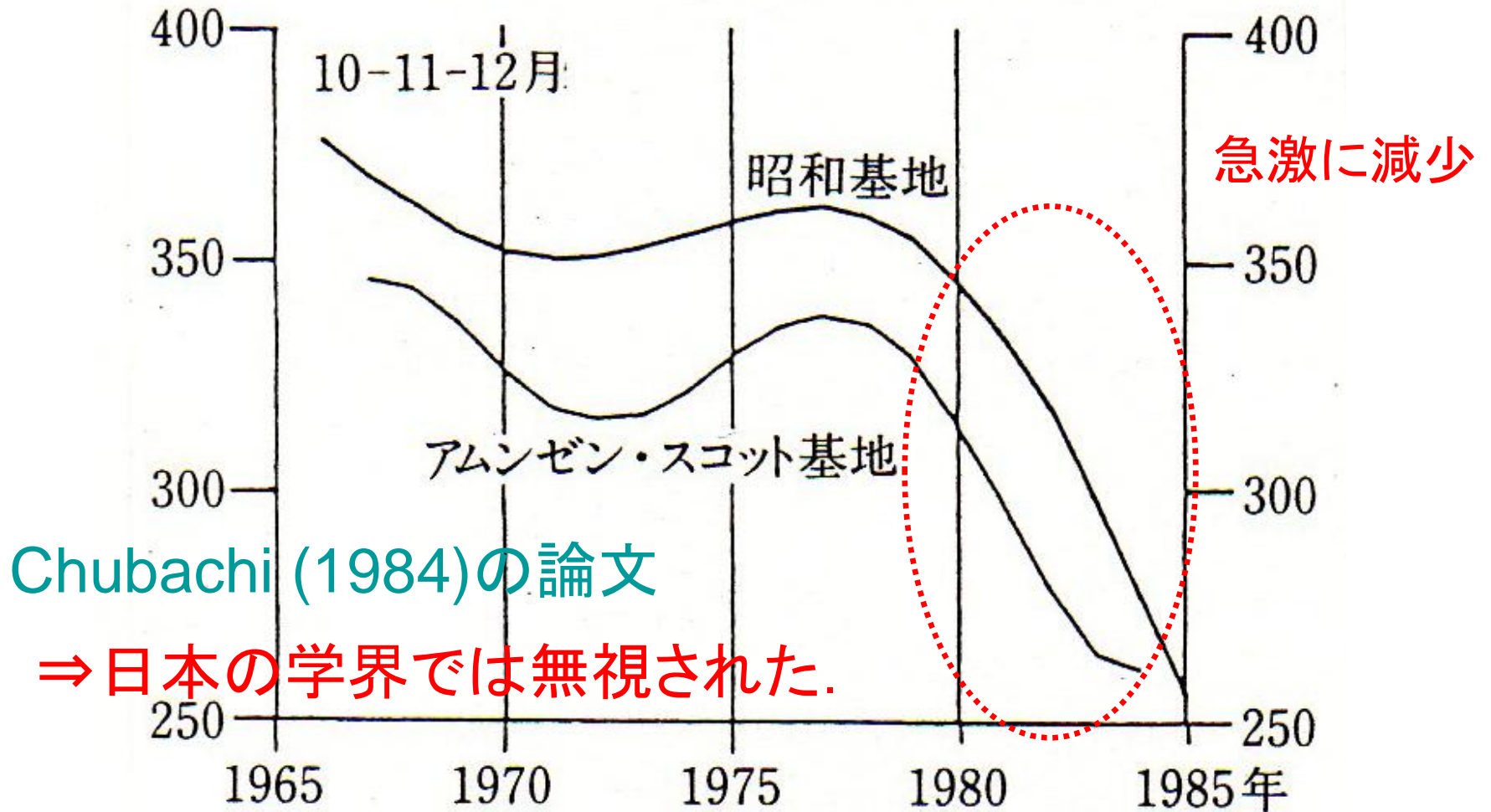
- オゾン層保護条約(ウィーン条約)

1985年締結, 1988年20カ国以上で発行

なぜ南極で観測をするのか？

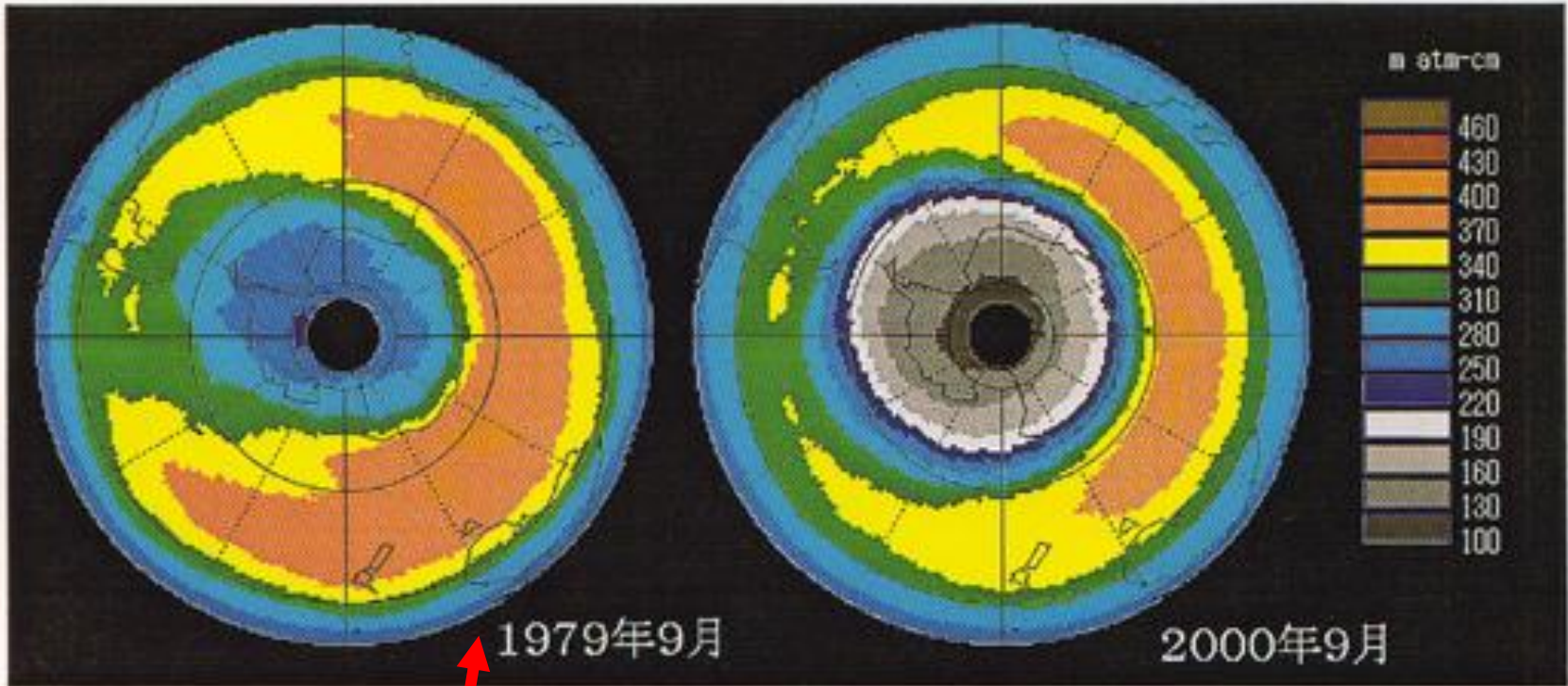


# 成層圏オゾンの減少



南極における春季のオゾン全量の経年変化

# 衛星からみたオゾンホール



## 図2：南極域のオゾンホールの状況

1979年、2000年9月の南半球月平均オゾン全量分布図。米国航空宇宙局（NASA）提供のTOMSデータを基に気象庁が作成。南極域では2000年9月10日に過去最大のオゾンホールの面積を記録した。なお、南極点周囲の黒い部分は、太陽高度角の関係で観測できない領域。

**NASAも欠測扱い。** Farman et al.(1985) の論文の後、極域のオゾン全量分布を公表した。

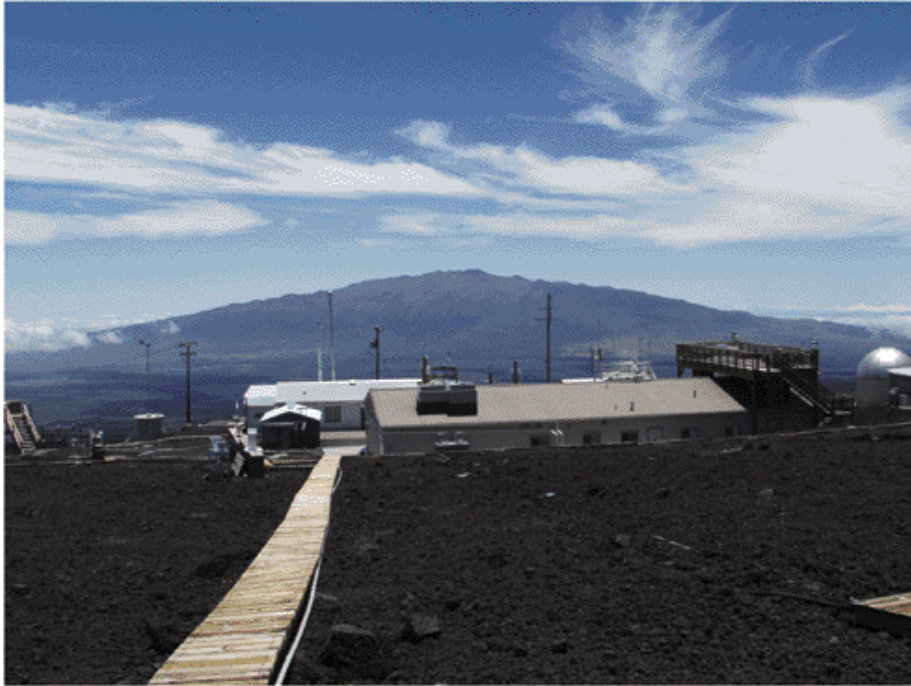
# オゾン層破壊 ～メカニズムの解明・観測 の重要性～

- "Stratospheric Ozone Depletion" --theory, measurements from space and ground
- 1995年度ノーベル化学賞受賞者 ローランド教授 特別講演  
Professor winner in 1995) Special Lecture

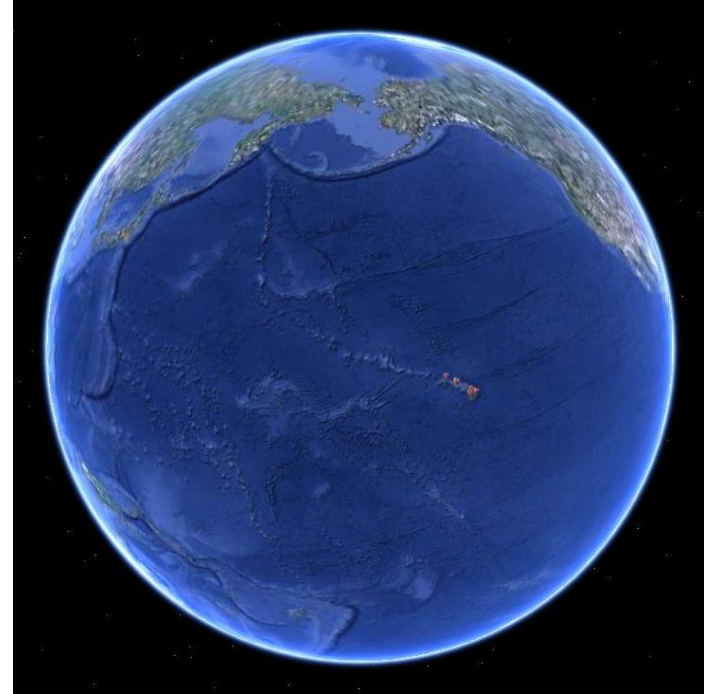


Wikipediaより( Markus Possel氏撮影 )

## 2. 地球温暖化

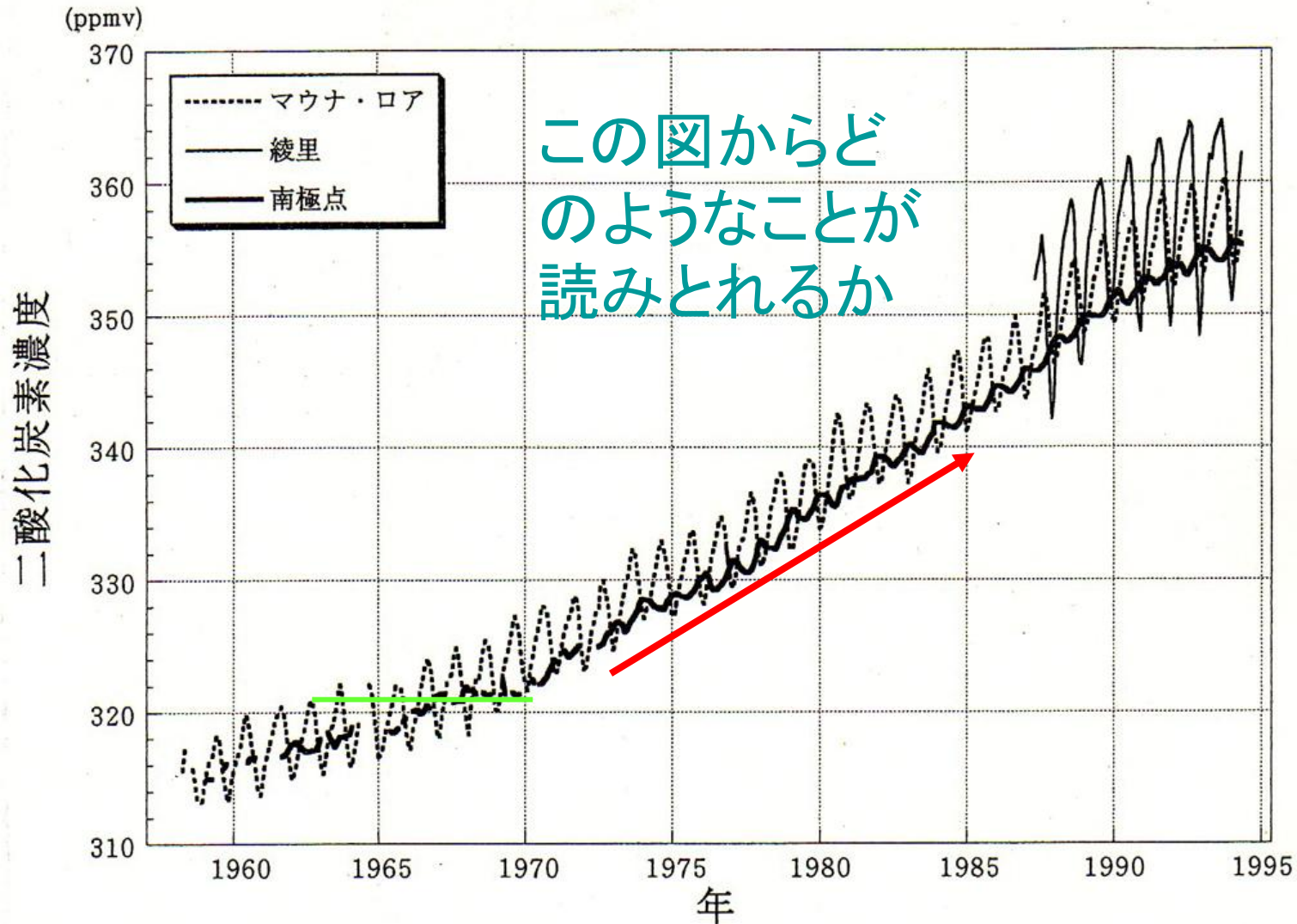


ハワイ・マウナロア観測所  
写真提供：マウナロア観測所 文部科学省ホームページより



Mauna Loa Observatory (MLO, 3397m) is a premier atmospheric research facility that has been continuously monitoring and collecting data related to atmospheric change since the 1950's. The undisturbed air, remote location, and minimal influences of vegetation and human activity at MLO are ideal for monitoring constituents in the atmosphere that can cause climate change.

# 温室効果ガスの観測結果



世界各地の二酸化炭素の経年変化 (気象庁, 1995)



# ハワイ・マウナロア山(4170m)での CO<sub>2</sub>観測

- Keeling のグループが1958年より開始
- 彼は地球温暖化を意識していたか？
- どのような変化傾向があらわれたか？

規則的な年変化と増加のトレンド

- 南極の振幅が小さく、綾里(岩手県)で大きいのはなぜか
- マウナロアのデータがなぜ重要なのか？

# マウナロアのCO<sub>2</sub>データ

\*\*\*\*\*

\*\*\* Atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations (ppmv) derived from in situ  
 \*\*\* air samples collected at Mauna Loa Observatory, Hawaii

\*\*\*

\*\*\* Source: C.D. Keeling

\*\*\* T.P. Whorf, and the Carbon Dioxide Research Group

\*\*\* Scripps Institution of Oceanography (SIO)

\*\*\* University of California

\*\*\* La Jolla, California USA 92093-0444

\*\*\*

\*\*\* June 2004

\*\*\*

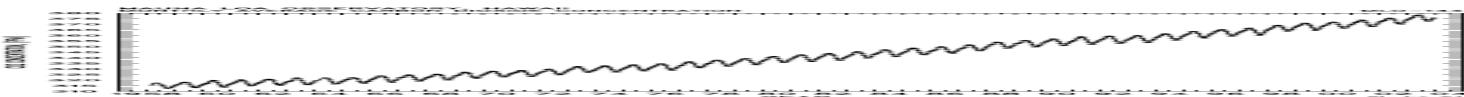
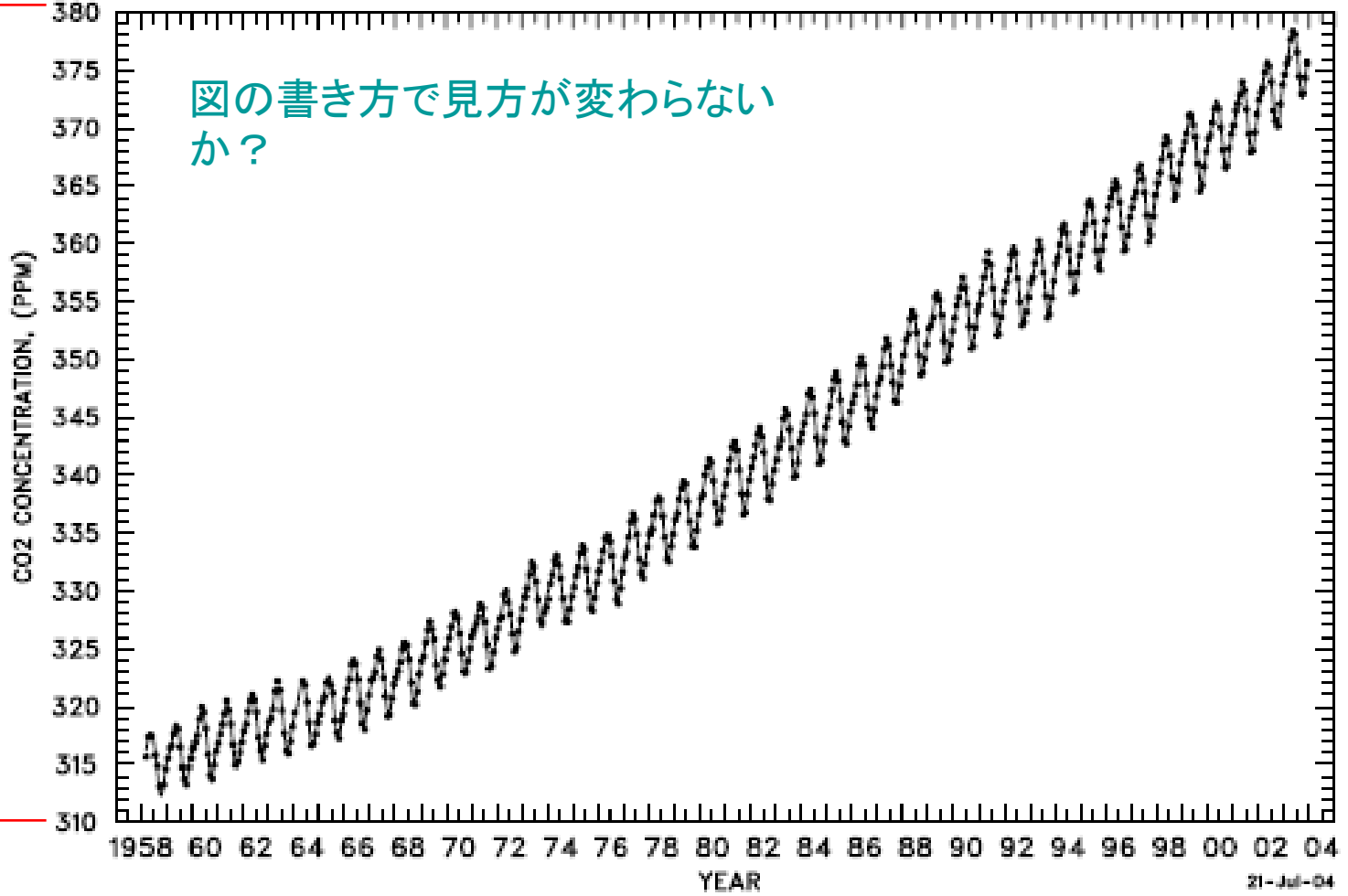
\*\*\*\*\*



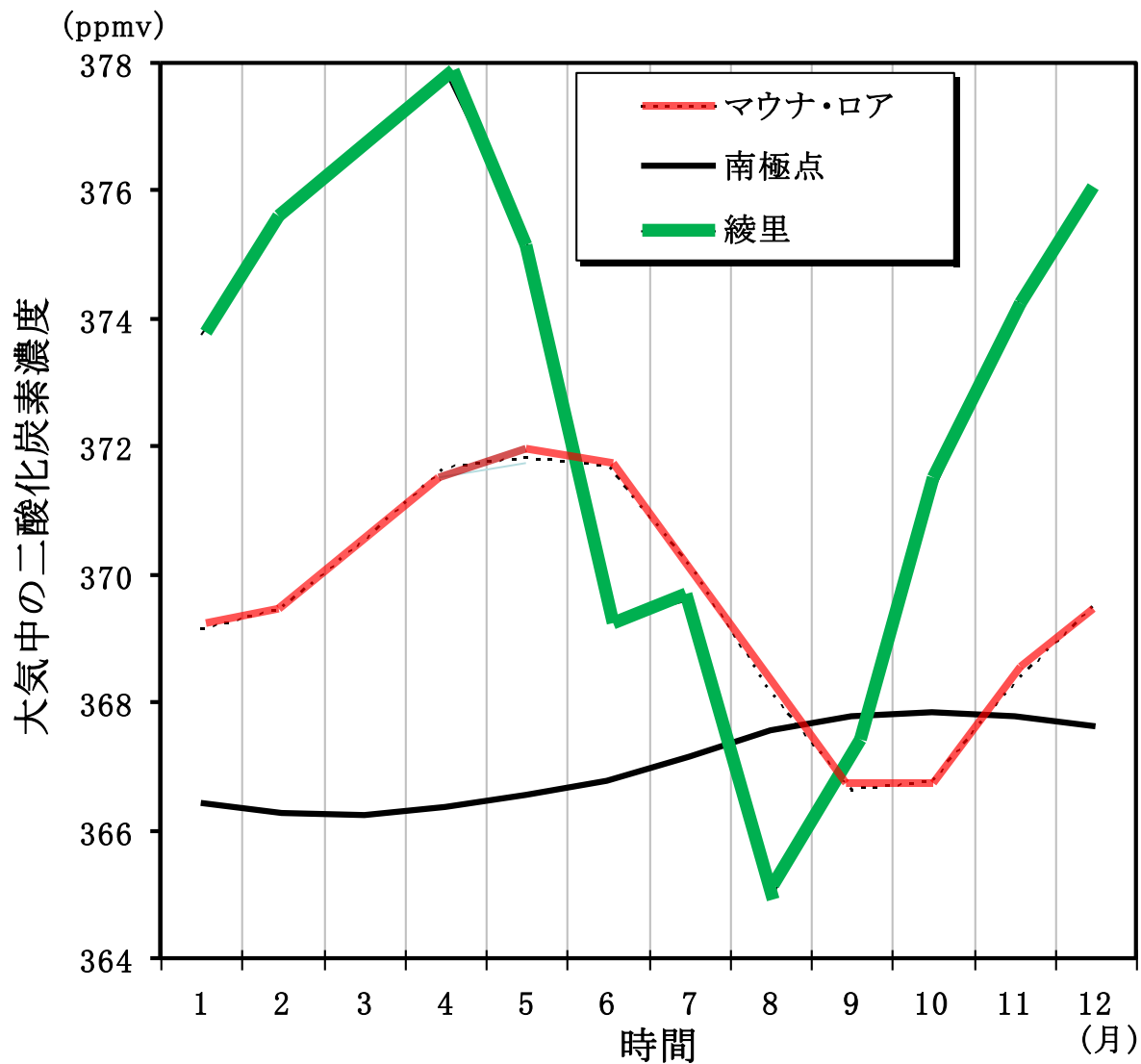
Year	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual	Annual-Fit
1958	-99.99	-99.99	315.71	317.45	317.50	-99.99	315.86	314.93	313.19	-99.99	313.34	314.67	-99.99	-99.99
1959	315.58	316.47	316.65	317.71	318.29	318.16	316.55	314.80	313.84	313.34	314.81	315.59	315.98	316.00
1960	316.43	316.97	317.58	319.03	320.03	319.59	318.18	315.91	314.16	313.83	315.00	316.19	316.91	316.91
1961	316.89	317.70	318.54	319.48	320.58	319.78	318.58	316.79	314.99	315.31	316.10	317.01	317.65	317.63
1962	317.94	318.56	319.69	320.58	321.01	320.61	319.61	317.40	316.26	315.42	316.69	317.69	318.45	318.46
1963	318.74	319.08	319.86	321.39	322.24	321.47	319.74	317.77	316.21	315.99	317.07	318.36	318.99	319.02
1964	319.57	-99.99	-99.99	-99.99	322.23	321.89	320.44	318.70	316.70	316.87	317.68	318.71	-99.99	319.52
1965	319.44	320.44	320.89	322.13	322.16	321.87	321.21	318.87	317.81	317.30	318.87	319.42	320.03	320.09
1966	320.62	321.59	322.39	323.70	324.07	323.75	322.40	320.37	318.64	318.10	319.79	321.03	321.37	321.34
1967	322.33	322.50	323.04	324.42	325.00	324.09	322.55	320.92	319.26	319.39	320.72	321.96	322.18	322.13
1968	322.57	323.15	323.89	325.02	325.57	325.36	324.14	322.11	320.33	320.25	321.32	322.90	323.05	323.11

MAUNA LOA OBSERVATORY, HAWAII  
MONTHLY AVERAGE CARBON DIOXIDE CONCENTRATION

MLO-144



# 二酸化炭素濃度の季節変化



# 3. 広域放射能汚染

## チェルノブイリ原発事故 1986年



- ・気象庁：全球移流拡散モデルの開発 (1987年) > 黄砂
- ・原研：SPEEDIの開発 > ウンカ

## 福島原発事故 2011年

- ・SPEEDIは、地域住民の避難誘導に生かされなかった。
- ・WSPEEDIは、外交(国際的な説明)に使用されなかった。
- ・チェルノブイリ原発事故の教訓は生かされなかった。

**チェルノブイリ 汚染大地 20年**

ベラルーシの春は遅い。3月末、南部の畑は雪に覆われていた。

「6月には畑は黄色い花で埋まるでしょう。見に来てください」。ベラルーシ第2の都市、ゴメリにある放射線研究所で、アゲエツ所長は言う。

ベラルーシの春は遅い。3月末、南部の畑は雪に覆われていた。

1986年に旧ソ連のチェルノブイリ原発で起きた事故で、ベラルーシは国土の23%が放射能で汚染された。

汚染地の作物は根から土中の放射性粒子を吸収する。食べると人の体内にたまる。立ち入り禁止地区のキノシシの肉が、現地の食肉基準の4千倍に相当する1キあたり80万円の放射能を帯びている例もある。

広大な土地が永久放棄される一方で、中程度の汚染地を農地として再生しようとする動きがある。放射性物質セシウムは30年で半分、60年で4分の1に、自然に低減するが、それを待つてはいられないからだ。

ある種の肥料をまくと作物が放射能を吸収しにくいことがわかった。汚染した麦は家畜のえさや種まきに回す。肉牛は出荷前に60日間、きれいなえさで汚染度を下げる。

政府のチェルノブイリ委員会のシェフチュク副委員長は「きれいな作物をつくる」「農業者を経済的に自立させる」の二

チェルノブイリ原発事故 86年4月26日、原子炉が爆発、放射能が大量に放出された。当初は原発から半径30km以内の約1万6千人が強制疎開。その後も広範囲で疎開が続き、計約40万人が増えた。放射線の被曝(ひばく)で50人近くが死亡、約4千人の子どもが甲状腺がんを発病した。その他のがんによる将来の死亡数は4千人または9千人と推定されている。

**再生 菜種**

上 M 地区のキノシシの肉が、現地の食肉基準の4千倍に相当する1キあたり80万円の放射能を帯びている例もある。

ベラルーシ

ウクライナ

シベリヤ

モスクワ

ゴメリ

ウクライナ

ロシア

黒海

キエフ

30km

立ち入り禁止区域

チェルノブイリ原発

ベラルーシ

ウクライナ

シベリヤ

モスクワ

ゴメリ

ウクライナ

ロシア

黒海

キエフ

30km

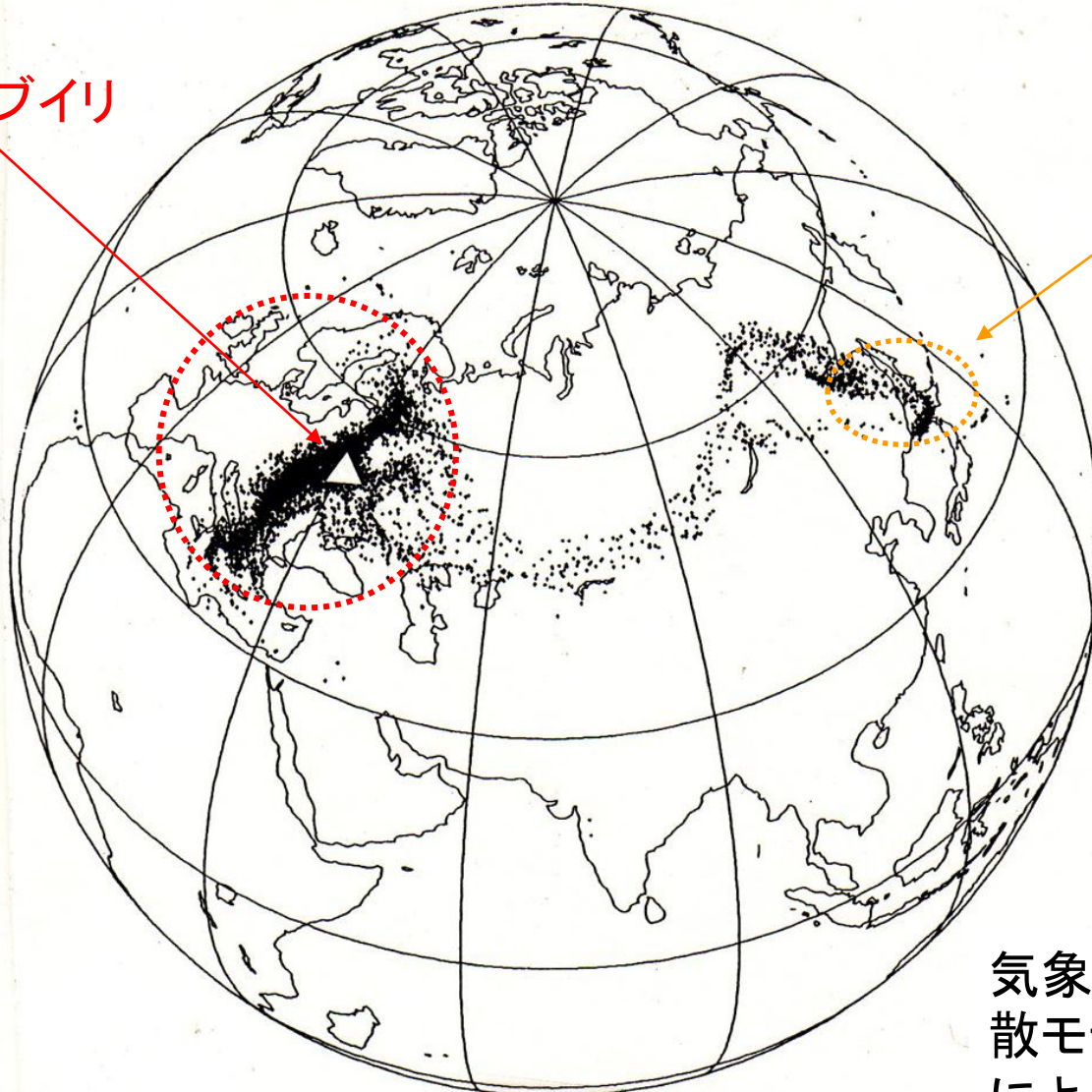
立ち入り禁止区域

チェルノブイリ原発

# 放射性物質の広域拡散

POSITIONS OF TRACERS

チェルノブイリ



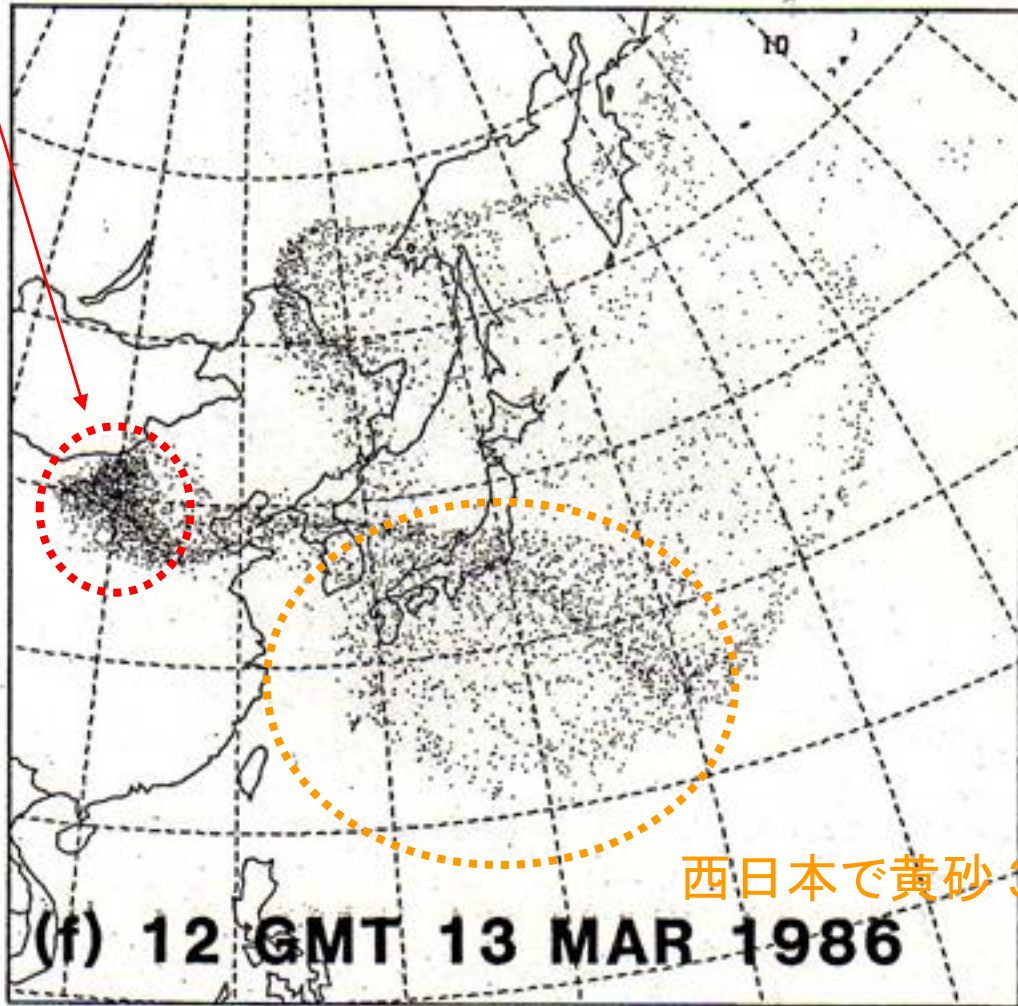
一週間後、北日本で放射性物質の観測

気象庁で開発された移流拡散モデル(中村・高杉,1987)による予測例

86 4 26 0 192

# 黄砂による移流拡散モデルの検証

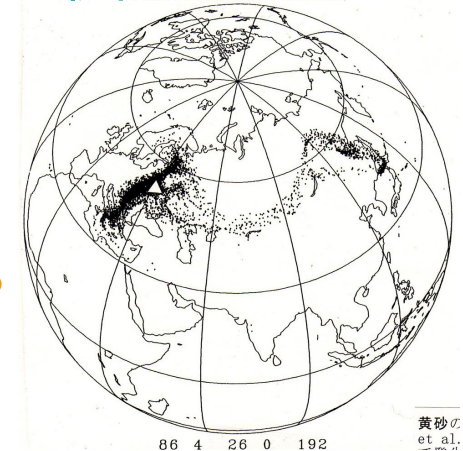
ゴビ砂漠 3/10



西日本で黄砂 3/12-13

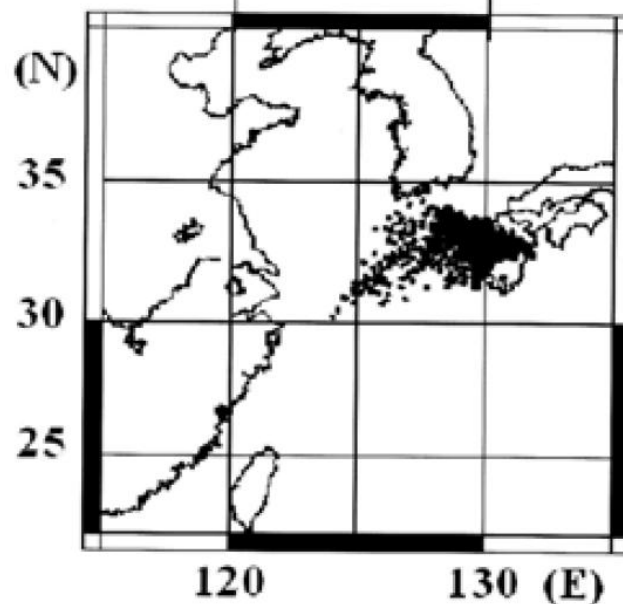
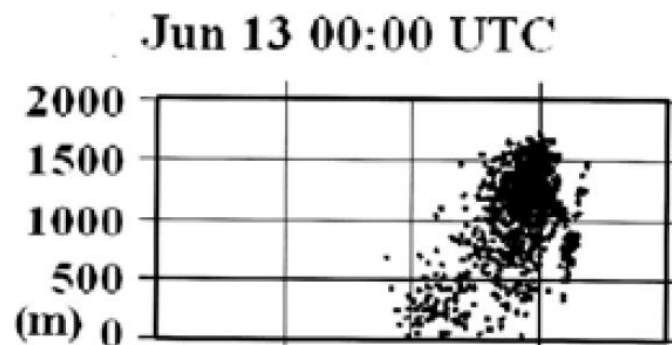
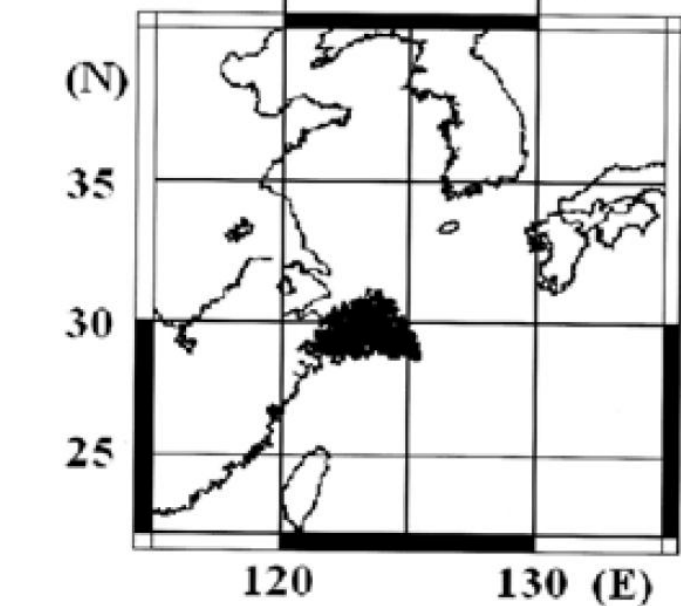
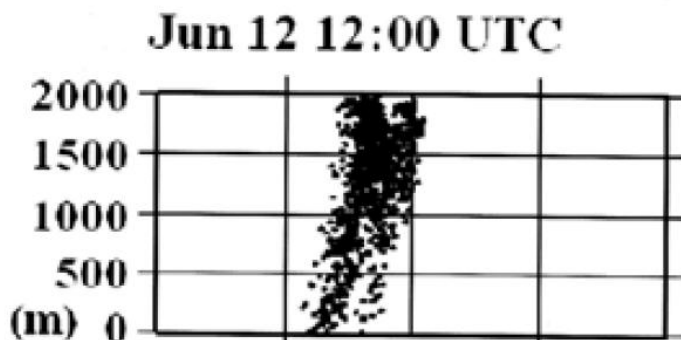
1986年3月10日、中国ゴビ砂漠で発生した黄砂は、2-3日後、偏西風により日本上空4kmに輸送される(Kai et al., 1988).

黄砂で移流拡散モデルの検証！



# WSPEEDIによるウンカの飛来予測

1998年6月（原研＋中央農研） Furuno et al.(2005)





# 地球環境問題に共通すること

1. 人間活動の影響が少ない, 南極やハワイの観測がなぜ大切なのか？
2. フロンガスや二酸化炭素はグローバルに拡散しているか？
3. Keelingや忠鉢は, (研究を始める前に)地球環境問題を意識していたか？
4. 地球環境問題の解決には、オゾンホールやSPEEDIの例のように、科学的理解が不可欠である。

# 器としての地球

大気, 海洋, 大陸の  
限界が見えてきた？

# 地球の大気、水、炭素

## 大気の組成

温室効果ガスは、大気のどのくらいを占めているか？

## 水の分布

人類に利用可能な水は、どのくらいの割合を占めているか？

## 炭素の分布

炭素は、どのような形態(大気・海洋・化石燃料など)で存在しているか？

# 大気の組成 (小倉, 1999)


成分	分子式	分子量	容積比(%)	
窒素分子	N <sub>2</sub>	28.01	78.088	
酸素分子	O <sub>2</sub>	32.00	20.949	99%
アルゴン	Ar	39.94	0.93	99.9%
炭酸ガス	CO <sub>2</sub>	44.01	温室効果	0.03
一酸化炭酸	CO	28.01		1 × 10 <sup>-5</sup>
ネオン	Ne	20.18		1.8 × 10 <sup>-3</sup>
ヘリウム	He	4.00		5.24 × 10 <sup>-4</sup>
メタン	CH <sub>4</sub>	16.05	温室効果	1.4 × 10 <sup>-4</sup>
クリプトン	Kr	83.7		1.14 × 10 <sup>-4</sup>
一酸化二窒素	N <sub>2</sub> O	44.02		5 × 10 <sup>-5</sup>
水素分子	H <sub>2</sub>	2.02		5 × 10 <sup>-5</sup>
オゾン	O <sub>3</sub>	48.0	オゾンホール	2 × 10 <sup>-6</sup>
水蒸気	H <sub>2</sub> O	18.02		不定

微量気体は  
わずか  
0.1%

↑  
人間活動

# 水分の分布

質量の%

海		97		海面上昇
氷（南極、グリーンランド、山岳氷河など）		2.4		99.4%
淡水(地下水)	} 水資源 (化石水)	0.6	99.9%	
淡水(湖沼、河川など)		0.02		
大気中の水蒸気	日々の天気	0.001		

※水分全体の質量=1.36×10<sup>21</sup>kg. 小倉(1984)

- ・南極、グリーンランド、山岳氷河などの氷(2.4%)が溶けると海面が上昇する。このほか、海水の膨張による効果も大きい。
- ・水資源は、わずか0.62%しかない。
- ・大気中の水はわずかしかないが、これが日々の天気をもたらす。

# 炭素の分布

(P. K. Weyl, *Oceanography*, 1970による)

相対的な比

生物圏	海洋生物		1	
	非海洋生物		1	
大気(CO <sub>2</sub> )	現在の二酸化炭素		70	人間活動
海洋(溶解しているCO <sub>2</sub> )	海洋変動		4,000	
化石燃料	地球温暖化		800	
頁岩	水惑星～地球の歴史		800,000	
炭酸塩岩石(石灰岩など)			2,000,000	

化石燃料をすべて使用すると、二酸化炭素の濃度は現在の10倍になる。

# 一次エネルギー消費 — 明治時代から現代まで —

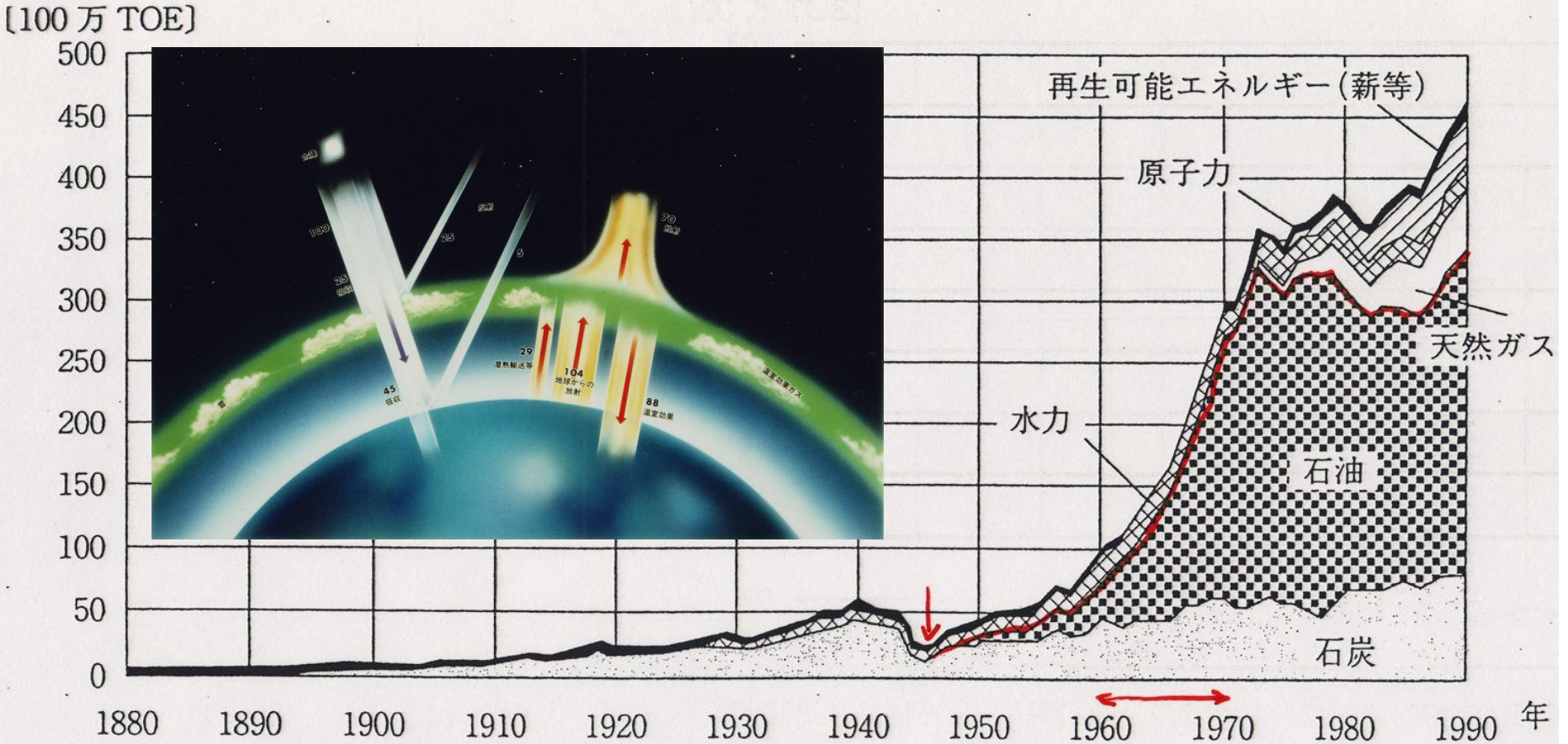
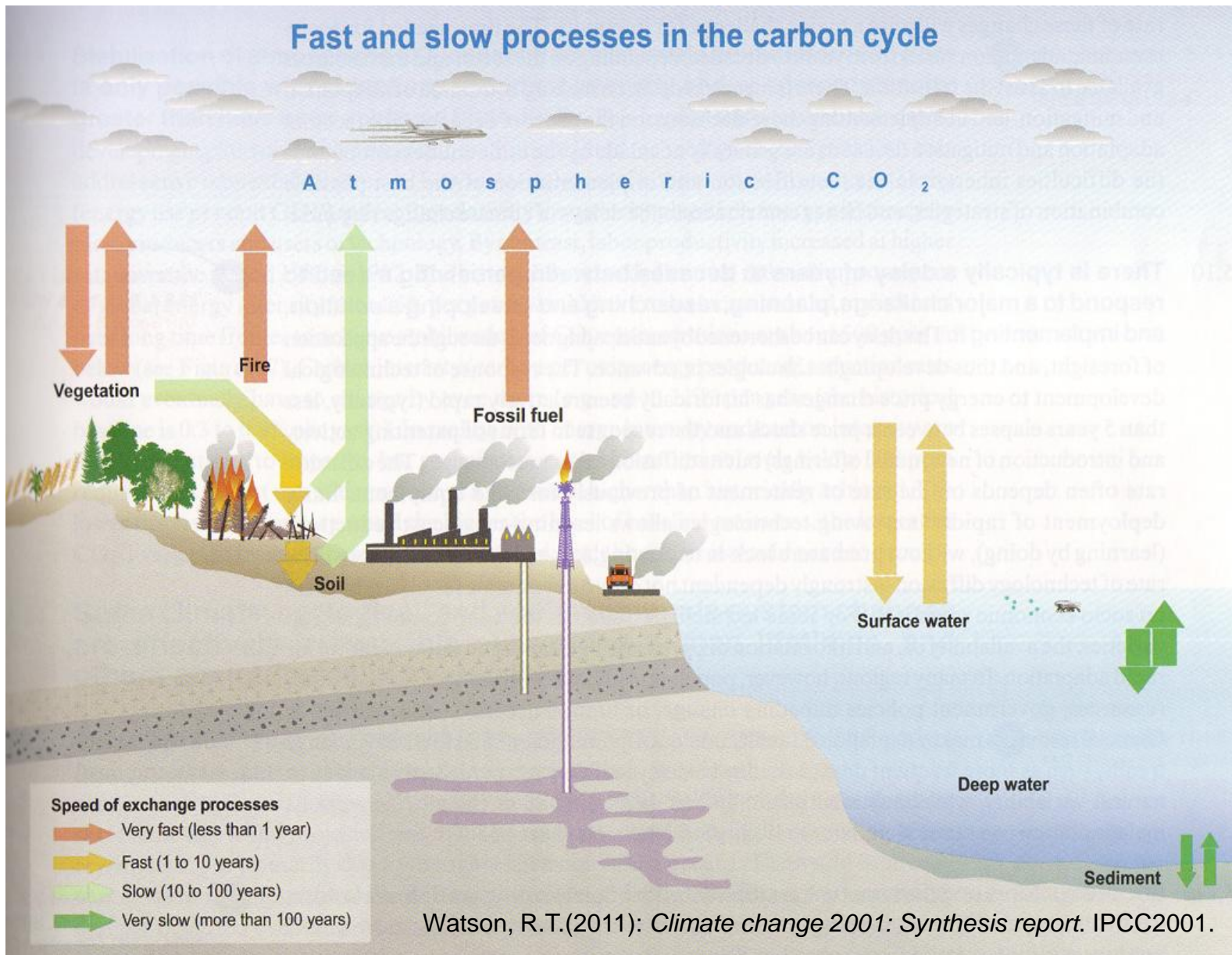


図1 一次エネルギー消費の変化 (茅陽一編, 1993)

# 地球の炭素循環





# COP17 ダーバン合意

2011年12月11日、南アフリカ・ダーバンで開催されていた気候変動枠組条約締約国会議(COP17)は、会期を2日延長して、「ダーバン合意」を採択した。先進国と途上国の利害が激しく対立し、協議は難航した。日本、カナダ、ロシアなどは、京都議定書の延長に不参加を表明した。アメリカと中国も削減義務がないので、ダーバン合意で削減義務を負うEUなど先進国の排出量は世界全体のわずか15%にとどまる。このように、二酸化炭素の削減は、人間活動の全般に関わるので、その削減は容易ではない。一方、地球温暖化は着実に進行している。

# まとめ

- 地球環境問題のトピックスとして、オゾンホール、地球温暖化、広域放射能汚染を取り上げ、共通することを指摘した。
- 地球温暖化を証明する観測データは、近未来にしか得られない。したがって、地球温暖化に関わる仮説を通常の方法(実験や観測)で検証することはできない。
- 地球環境問題の顕在化は、無限と思われてきた地球に限界がみえてきたことを意味する。大気、水、炭素の基礎的データから、器としての地球を知ることができる。
- 二酸化炭素の削減は、人間活動の全般に関わるので、その削減は容易ではない(COP17 ダーバン合意)。