



—地球規模の環境は変動してるか—

- ☆ どうなっているか
- ☆ 問題点は何か
- ☆ 観測・予測する技術

安岡 善文

東京大学生産技術研究所

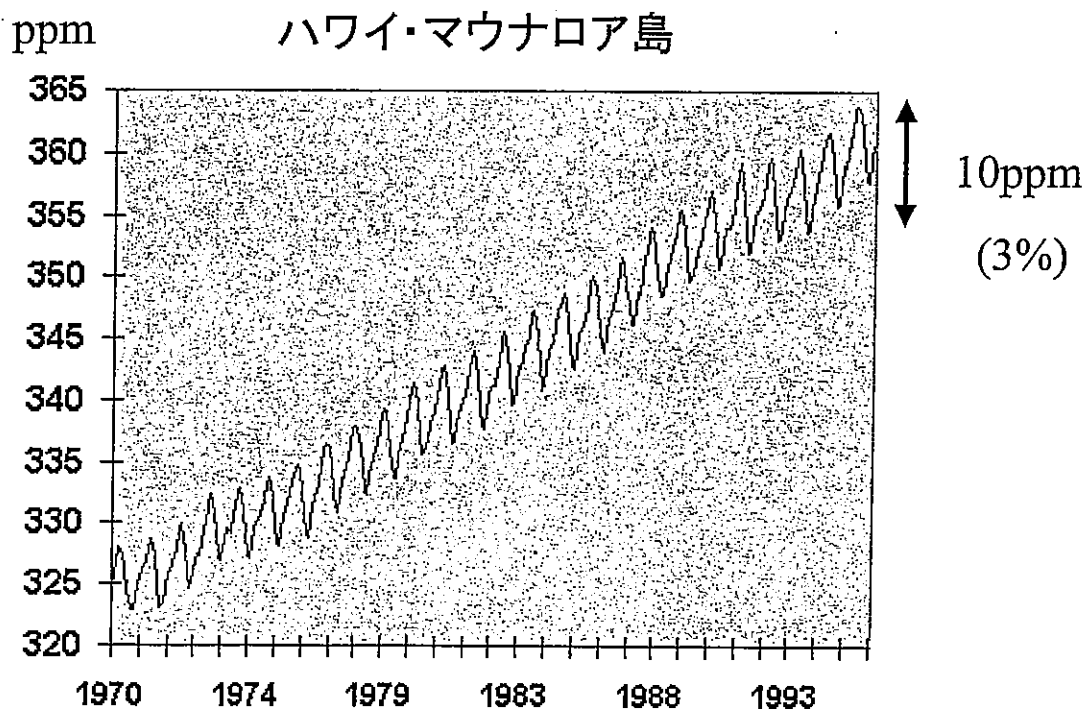
政府税制調査会基礎問題小委員会

2004/5/14

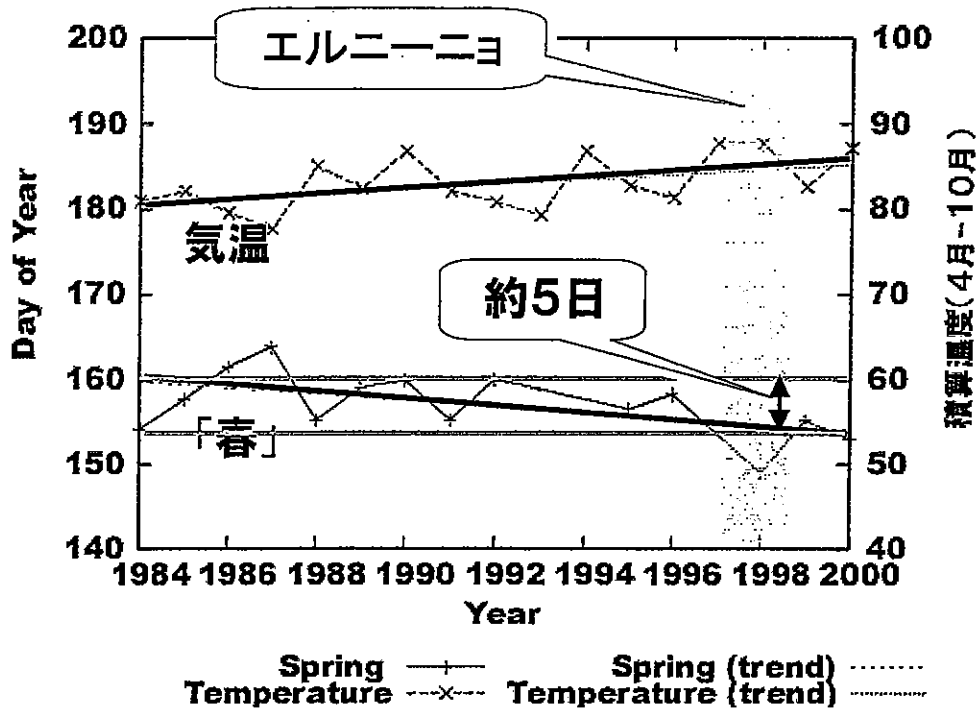
1



大気中 CO₂ 濃度



気温が上がって、春が早くなった

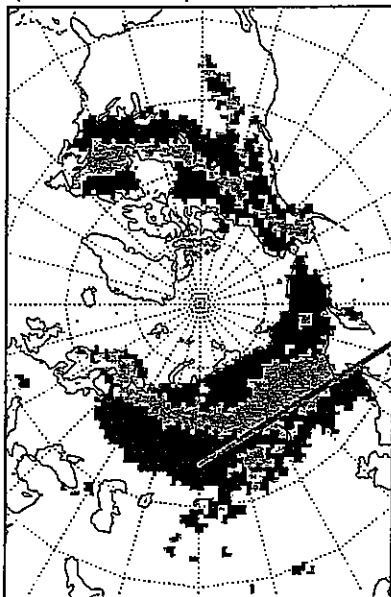


「春」は17年間で約5日早まった

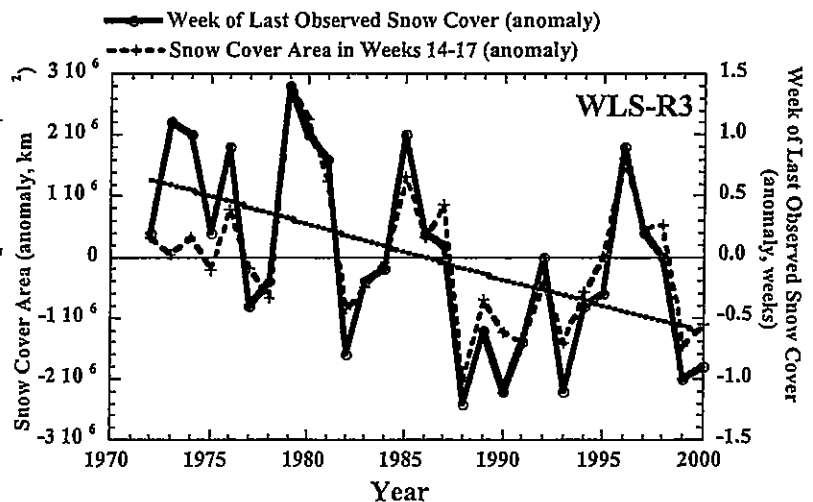
3

雪解けが早くなった (1972年~2000年)

Week of Last Observed Snow Cover (WLS)
(Mean, 1972-2000)

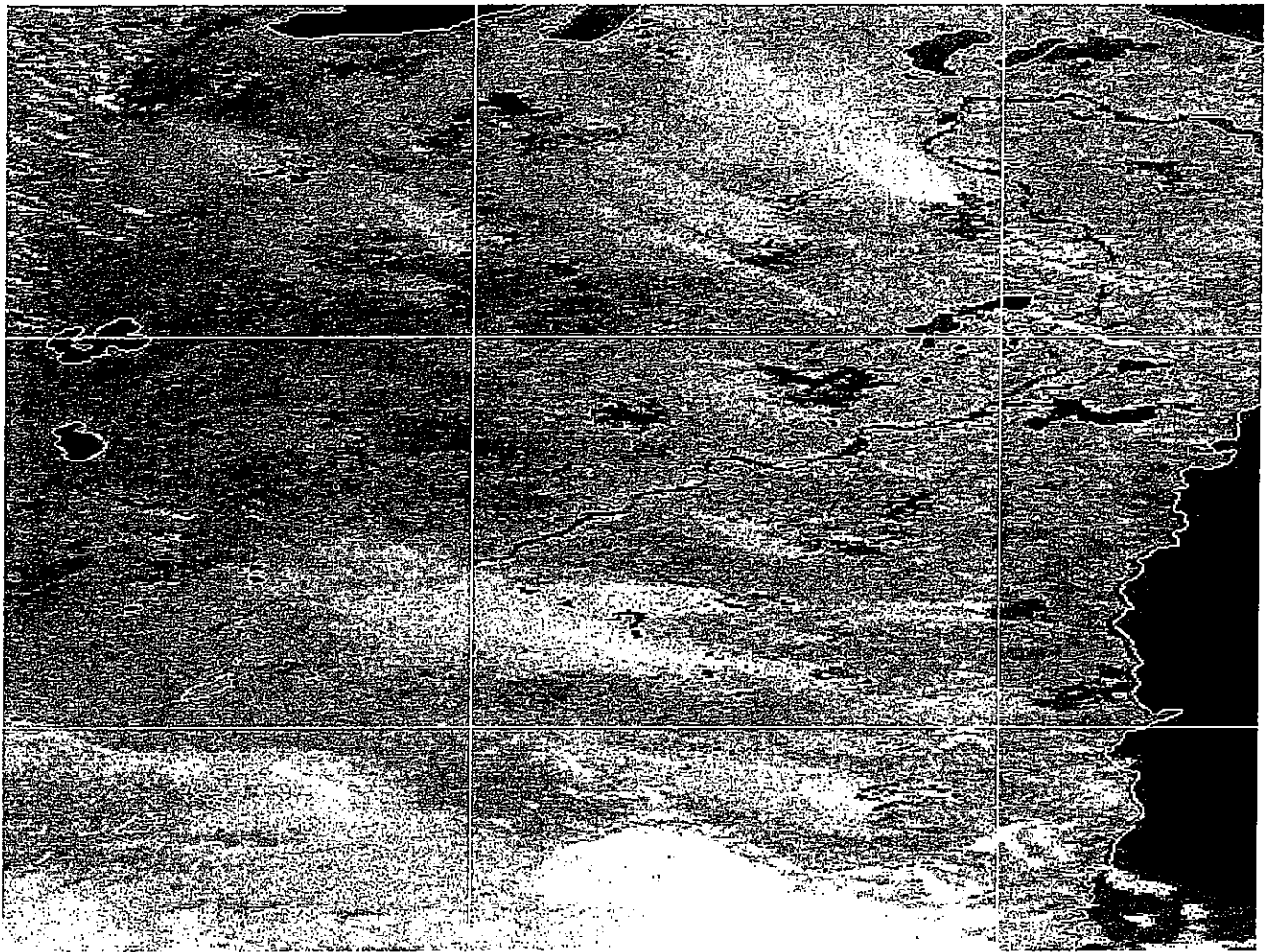


ゾーン3



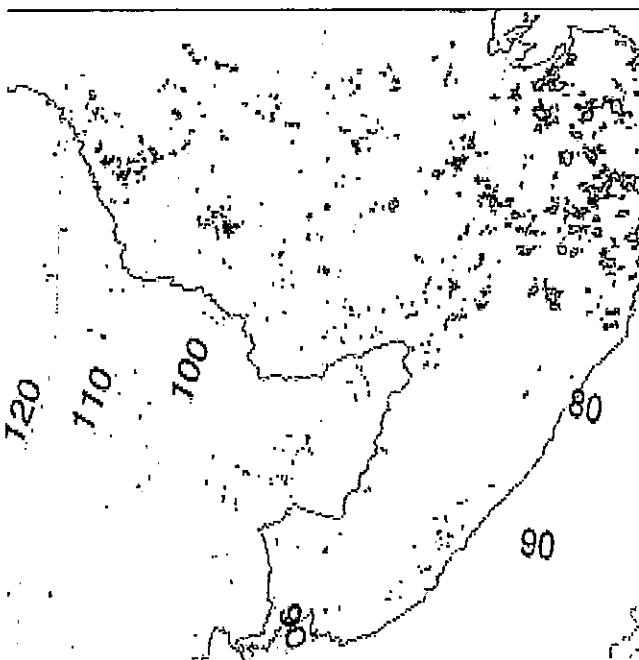
Dr. D. Dye; FRSGC

4

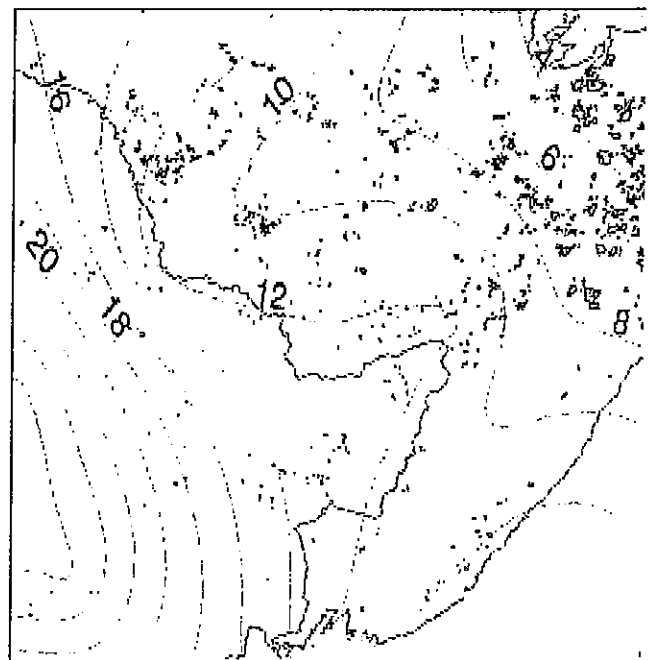


5

火災発生頻度と気温、降雨量



降水量偏差 (%)



気温偏差 (° C)

6



昨年、今年の動きー地球観測サミット

- ☆ 昨年6月のエビアンサミットで地球観測の重要性が指摘された
- ☆ 昨年7月にワシントンで地球観測サミットが開催され、今後10年の地球観測国際戦略を策定することが決められた
- ☆ 今年4月25日東京で開催された閣僚級会議で今後10年の国際戦略策定方針が合意された

文部科学省、総合科学技術会議等で国際戦略策定の検討が進められている

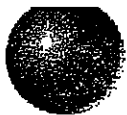
7



何故、この時期に地球観測サミットか？

- ☆ リオデジャネイロ、ヨハネスブルグでの地球サミット（持続可能な開発に関する世界首脳会議）において様々な枠組みが決められたが、環境観測の具体策は決まっていない
- ☆ 京都議定書の第一約束期間が2008年から始まるが、吸収源評価等の具体策は決まっていない
- ☆ 地球規模環境変動が顕在化しつつあることが明らかとなってきたが、まだ、データの空白域が多い

8



地球観測の問題点

- ☆ 途上国データへのアクセス不足
- ☆ 技術的インフラの陳腐化
- ☆ 空間的・時間的な空白(ギャップ)
- ☆ データ統合、相互利用の困難さ
- ☆ 観測の継続性の不確かさ
- ☆ ユーザの取り込みの不十分さ
- ☆ データ → 情報 変換の不十分さ
- ☆ データ管理の不十分さ

(地球観測サミット枠組み文書より)

9



対象とする問題

社会経済的利益(societal benefit)の増大のための9項目

- @ 自然および人為起源の災害による、人命および財産の消失の軽減
- @ 人間の健康と福祉に影響を与える環境要因の理解
- @ エネルギー資源管理の改善
- @ 気候変動と変化の理解、評価、予測、軽減および適応
- @ 水循環のよりよい理解を通じた、水資源管理の向上
- @ 気象情報、予報および警報の向上
- @ 陸域、沿岸および海洋生態系の管理および保護の向上
- @ 持続可能な農業および砂漠化との闘いの支援
- @ 生物多様性の理解、監視および保全

(地球観測サミット枠組み文書より)

10

● 第二回地球観測サミット(東京)の成果

2005-2014の 全球地球観測システム (GEOSS) を策定
することに合意

- * 包括的、調整された、継続的な観測を計画
- * 既存システムと協調して分散的に構築
- * 最終の利用形態を意識したニーズ主導の観測
- * 能力開発 (キャパシティビルディング) を促進

11

● 日本の力点はどこか？

- ☆ 地球温暖化
 - ☆ 水資源、水循環
 - ☆ 災害
- } 3分野

- @ 先端的科学技術の活用
- @ 観測情報の取得と提供
- @ 開発途上国の能力開発

(東京での地球観測サミットにおける文部科学大臣の意見表明)

12



昨年、今年の動き (2)

- ☆ 日本では、ALOS、GPM、GOSAT等の地球観測衛星の開発計画が進められている

ALOS: 高精度地表面観測

GPM: 全球降雨観測

GOSAT: 温暖化ガス観測

- ☆ 地球観測ネットワーク構築が進められている
(AsiaFlux, AmeriFlux, EuroFlux, ...)

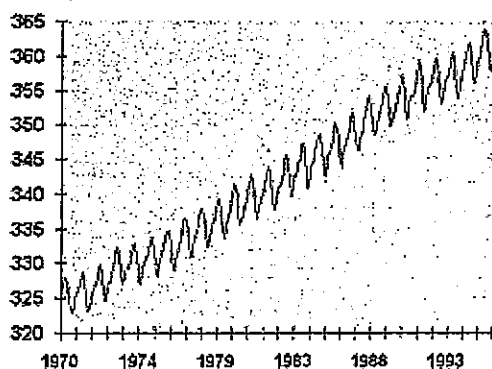
- ☆ 地球環境モデル構築が進められている
(地球シミュレータ開発、...)

13



環境変動の観測と予測

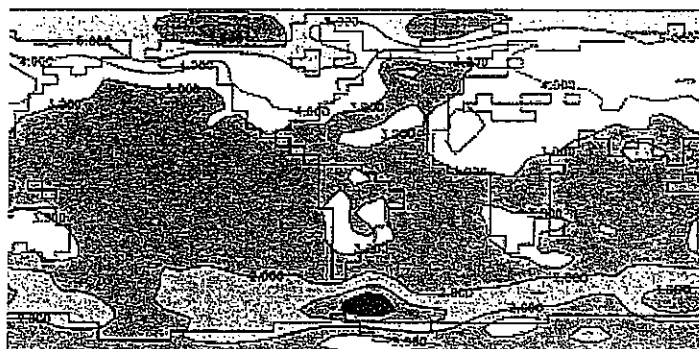
Atmospheric CO₂ Concentration at Mauna Loa (ppm)



戦略的観測

+

モデル開発



気温分布予測 2050;FRSGC

14

どうなっているか？

ポイント1

温暖化等の環境変動は確実に進んでいる

... IPCC報告書

ポイント2

環境変動の主たる原因は人間活動である

... 自然の循環サイクルを壊す可能性あり

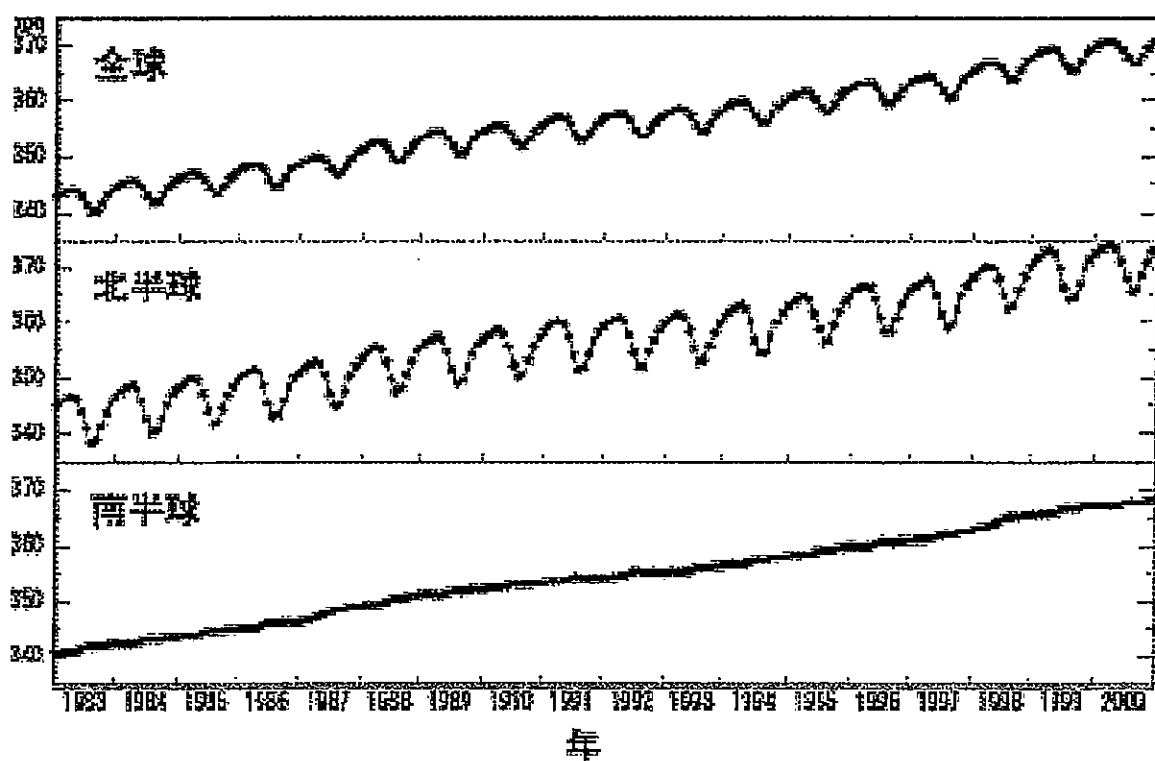
ポイント3

変動のプロセスが極めて複雑

... 大気・海洋・陸域・人間の複合システム

15

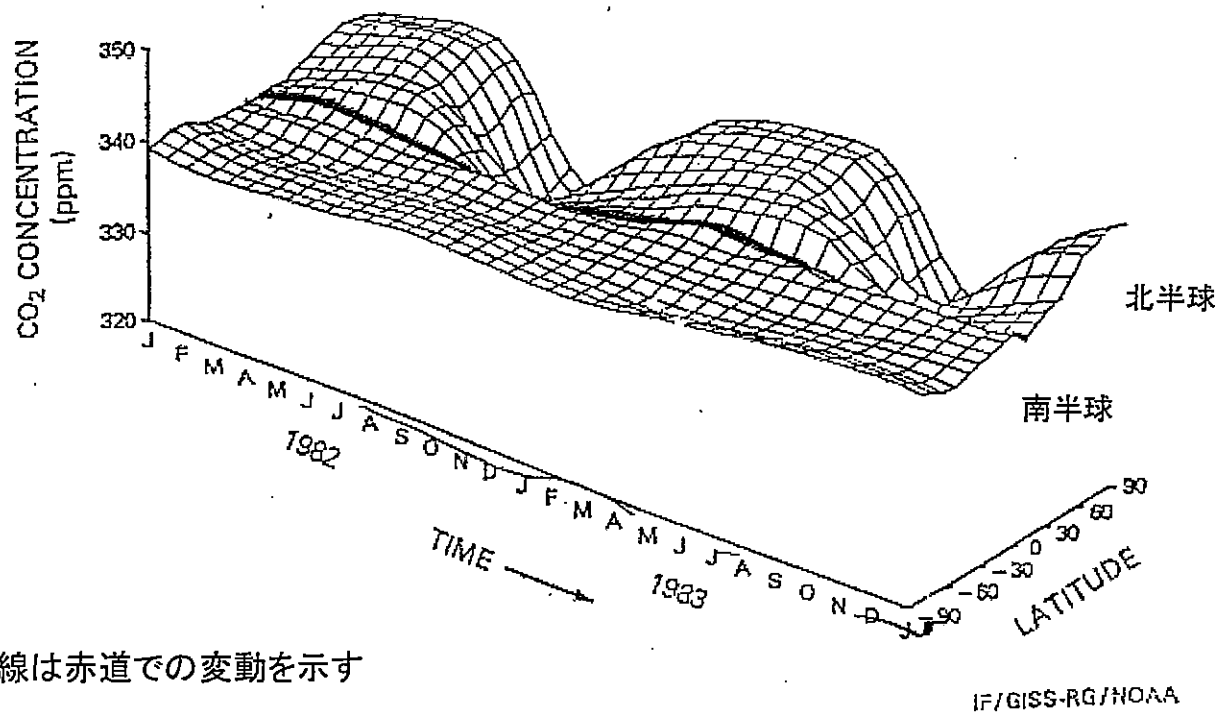
大気中CO₂濃度の緯度依存性



16

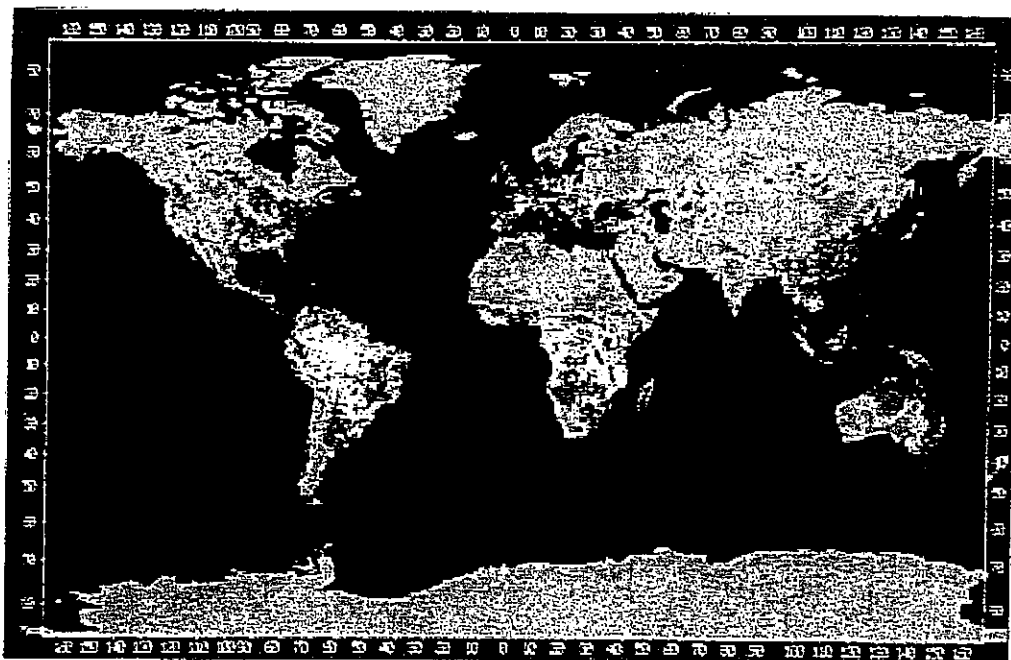


大気中 CO₂ 濃度の場所依存性



17

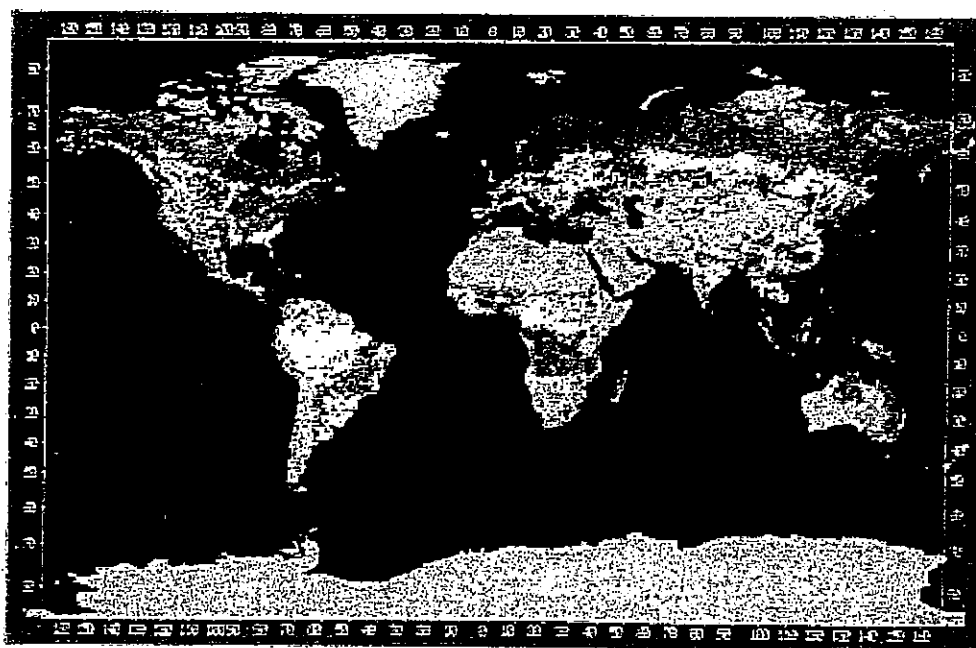
全球規模での植生活性度 (正規化植生指数による)



12月-1月

18

全球規模での植生活性度（正規化植生指数による）



h3

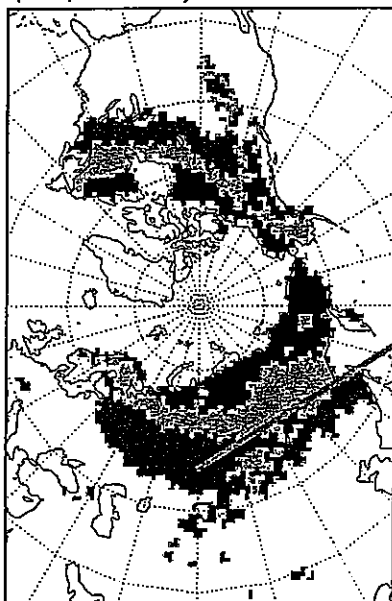
6月ー7月

19



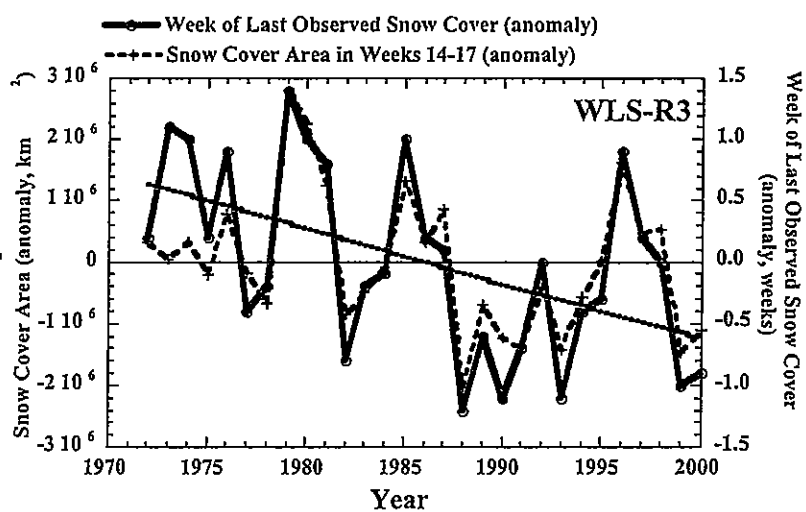
春季に雪が覆った面積と雪解け（1972年～2000年）

Week of Last Observed Snow Cover (WLS)
(Mean, 1972-2000)



■ 22.0-26.0 (WLS-R1)
■ 17.5-22.0 (WLS-R2)
■ 13.5-17.5 (WLS-R3)

ゾーン 3



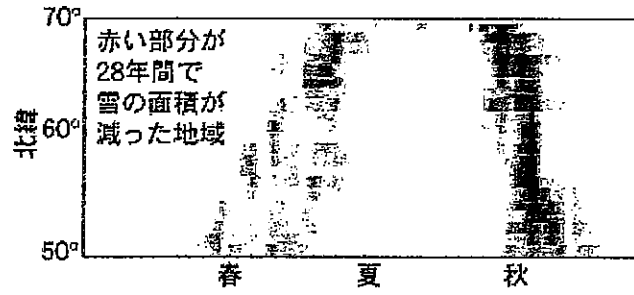
20



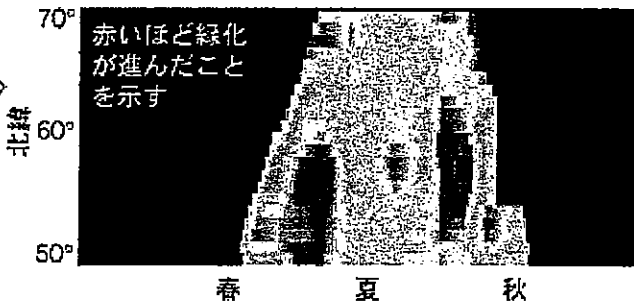
高緯度では積雪期が減少し、緑化が進行

衛星データから1982~1999年の間の変化を調べてみると...

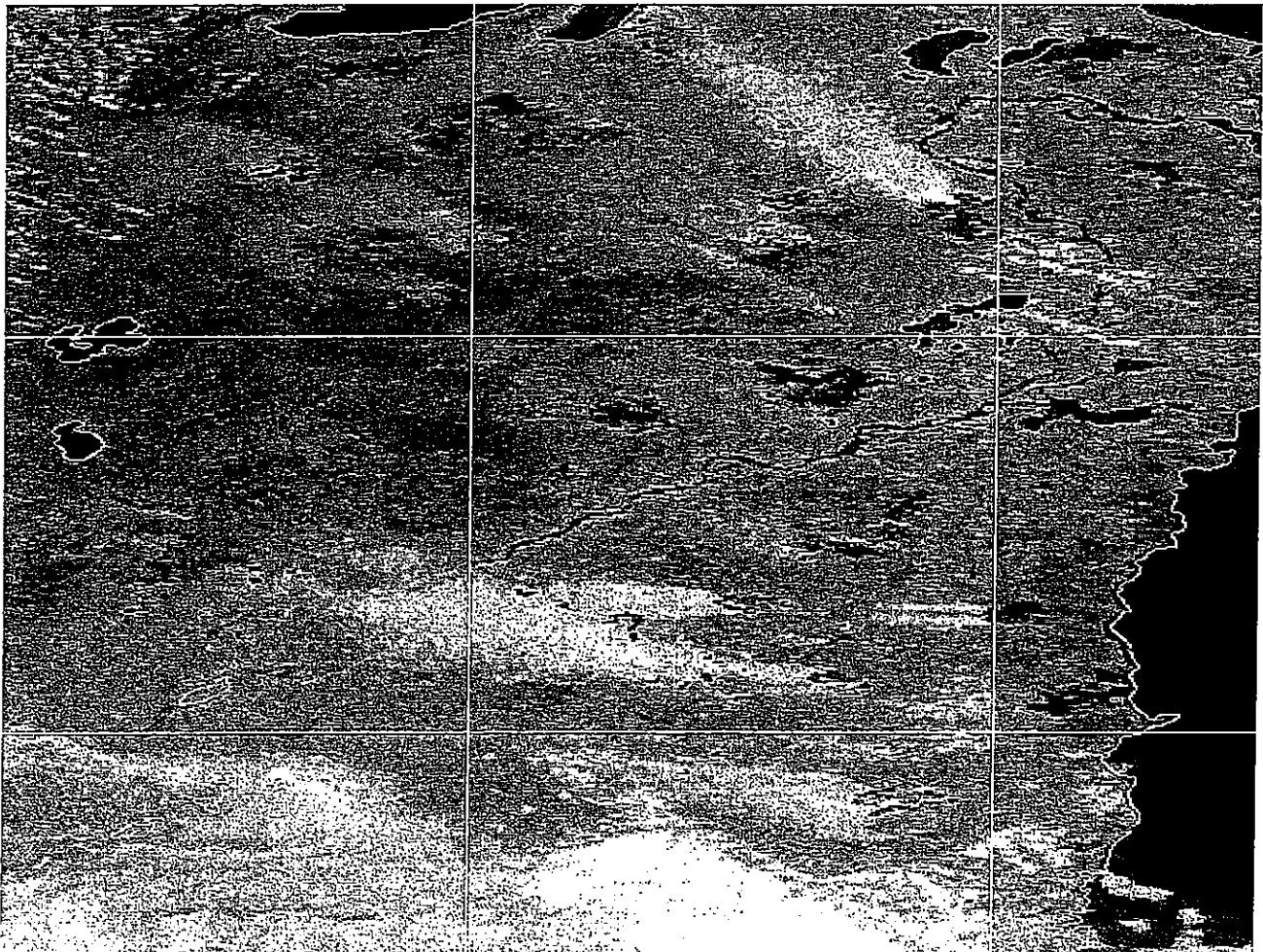
気温が上がり
地面が雪に被わ
れる期間が短く
なっていました



さらに
それに応じて地域
の緑化がすすんで
いることがわかり
ました



21



22

森林火災統計

Year	Amur	Biro.	Khab.	Prim.	Heil.	Jilin	Nei M.	Total
1984	843.6	8.2	4569.8	45.2	298.8	16.0	66.8	5848.4
1985	451.5	111.1	767.0	158.2	632.3	102.9	44.7	2267.7
1986	4385.6	392.8	1580.4	236.6	1871.9	26.5	222.0	8715.8
1987	8082.2	364.2	2146.0	672.7	6703.2	23.8	204.4	18196.5
1988	520.5	120.1	4480.9	344.1	377.1	135.2	156.8	6134.6
1989	4173.3	262.5	582.0	219.5	433.0	59.7	31.7	5761.5
1990	764.4	182.2	223.7	75.3	217.5	4.8	79.5	1547.4
1991	356.9	577.2	232.0	209.8	715.0	17.5	53.8	2162.1
1992	4823.1	425.7	5597.7	1999.4	4957.2	686.9	2250.2	20740.2
1993	2385.8	831.9	2067.1	508.3	879.7	171.6	255.6	7100.2
1994	1390.1	55.9	1020.7	522.7	879.1	642.4	756.4	5267.2
1995	145.0	4.3	236.4	2.8	108.7	1.2	58.0	556.4
1996	15061.1	425.0	3781.3	98.2	1537.3	7.8	54.0	20964.8
1997	69.3	46.2	383.7	129.3	49.5	10.3	1.1	689.4
1998	2722.6	144.0	17677.4	398.9	516.2	16.7	34.1	21509.9
1999	1170.3	681.2	1475.9	378.2	773.7	0.0	74.4	4553.8
2000	9520.3	450.7	1682.8	4182.1	22333.2	8794.1	5165.1	52128.3
2001	8123.0	235.1	1864.1	797.9	16994.4	1495.8	3679.5	33189.8

Biro. (Birobidzhan), Khab. (Khabarovsk), Prim. (Primorye), Heil. (Heilongjiang), Nei M. (Nei Mongol)

行政区毎の毎年の火災面積 (in km²)

23

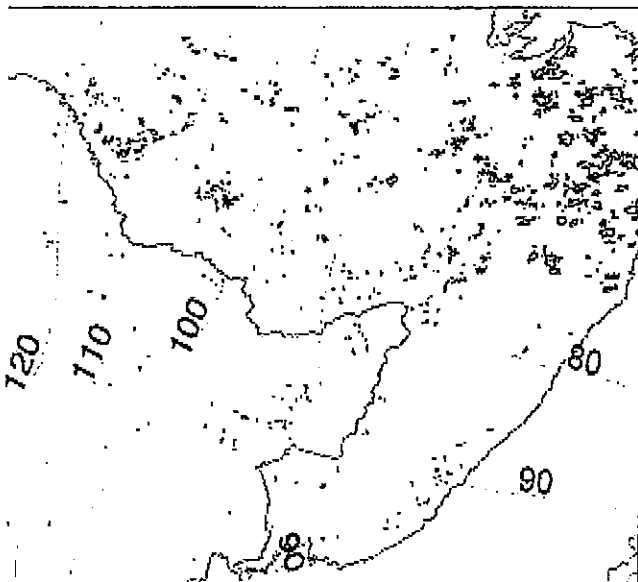
火災発生頻度と気候パラメータ偏差

年間降水量偏差:

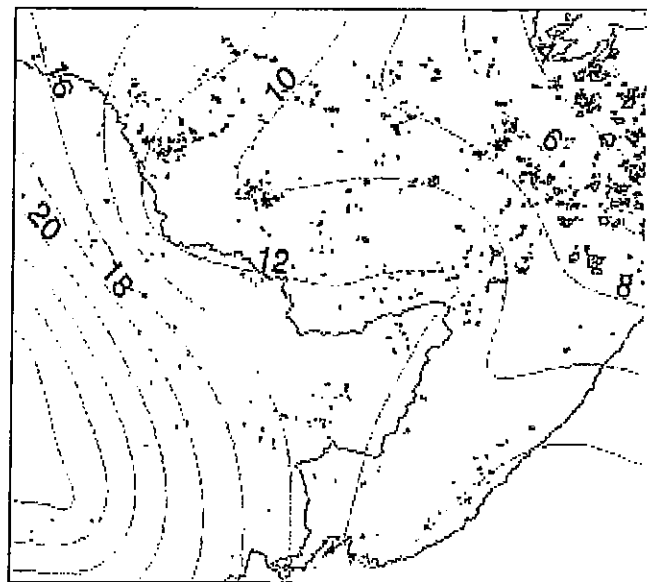
月単位降水量偏差の平均 (%)

年間平均気温偏差:

月単位平均気温偏差の和 (° C)



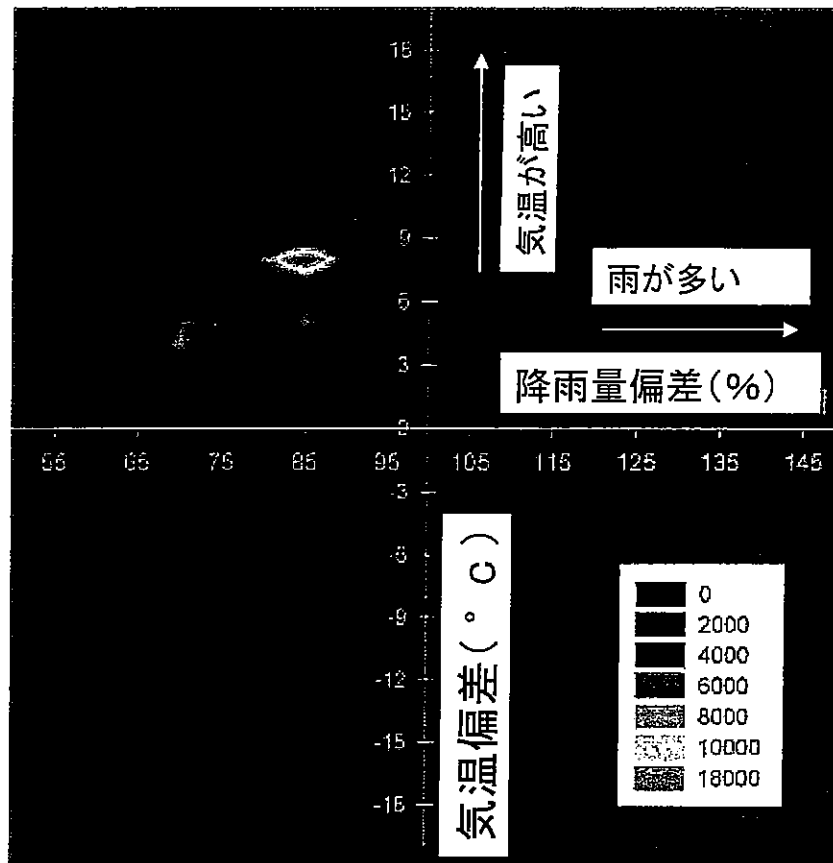
降水量偏差 (%)



気温偏差 (° C)

24

森林火災と気温、降雨量の関係



25

問題点は何か — 社会的側面

ポイント4

環境変動は社会・経済に大きな影響を与える

… 疫病、災害

ポイント5

環境変動は国際的な関心事になりつつある

… 地球サミット、京都会議

ポイント6

環境変動は一国の安全保障問題となりつつある

… 安全・安心の確保

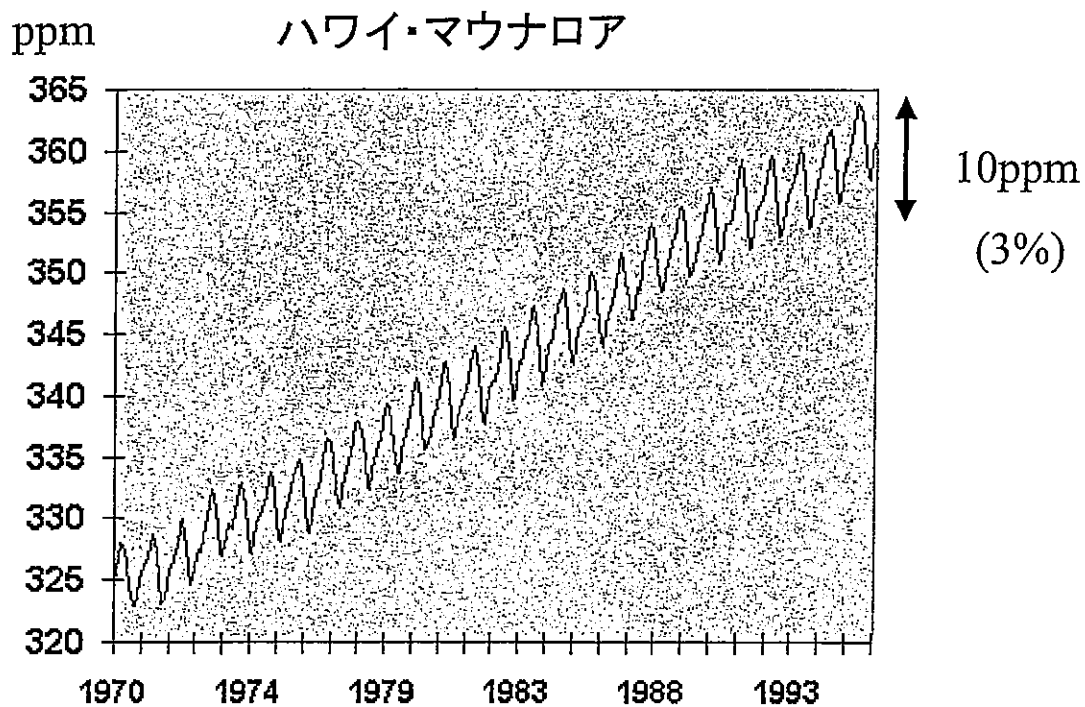
26

京都会議で決まったこと（要約）

- # 先進国で1990年に比較して、2008年—2012年までに
5%の二酸化炭素を削減（日本は6%）
- # 6つの温暖化ガスを規定
(CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆)
- # 陸域生態系によるシンク、ソースを評価
- # 共同実施(JI)、クリーン開発メカニズム(CDM)

27

大気中CO₂濃度



28

地球温暖化ガス(京都会議)

	温暖化指数	存在量(ppbv)	影響指数
CO2	1	350,000	70
CH4	25	1,800	28
N2O	320	310	13
HFC5	1500 - 8000	0	0
CF4	6500	0.075	5
SF6	25000	0.004	0.1

(A. Khalil, 1999)

29

陸域生態系 京都Forest

新規植林

再植林

森林伐採

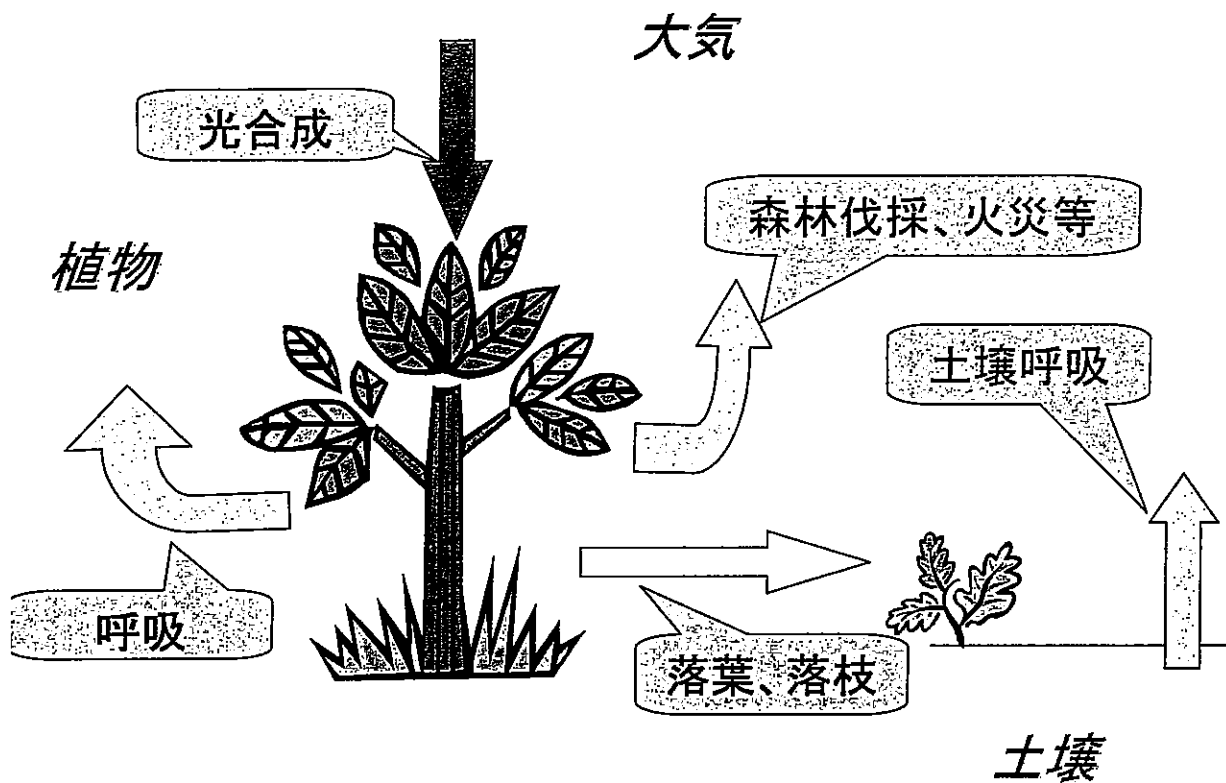
それに伴う土壌等による効果

1990年時点との比較

@ 温暖化ガス吸収量の計測方法は決まっていない

30

植物生態系におけるCO₂収支モデル



31

問題点は何か — 科学技術的側面

ポイント7

環境変動に関する情報が不足している

… 観測の強化、モデルの構築

ポイント8

特に、生態系に関する情報が不足している

… 局所性、不均一性

32

ポイント9

リモートセンシングの活用

- ・・・ 新たな衛星、航空機センサの開発

ポイント10

観測とモデルの結合が必要

- ・・・ 新たな情報の創出

ポイント11

情報の標準化と公開

- ・・・ 観測手法の標準化等

33

観測対象の

1. 空間特性(局所から広域まで)と
2. 時間特性(短期から長期まで)を
3. 多様な項目を同時的に
4. 継続的に

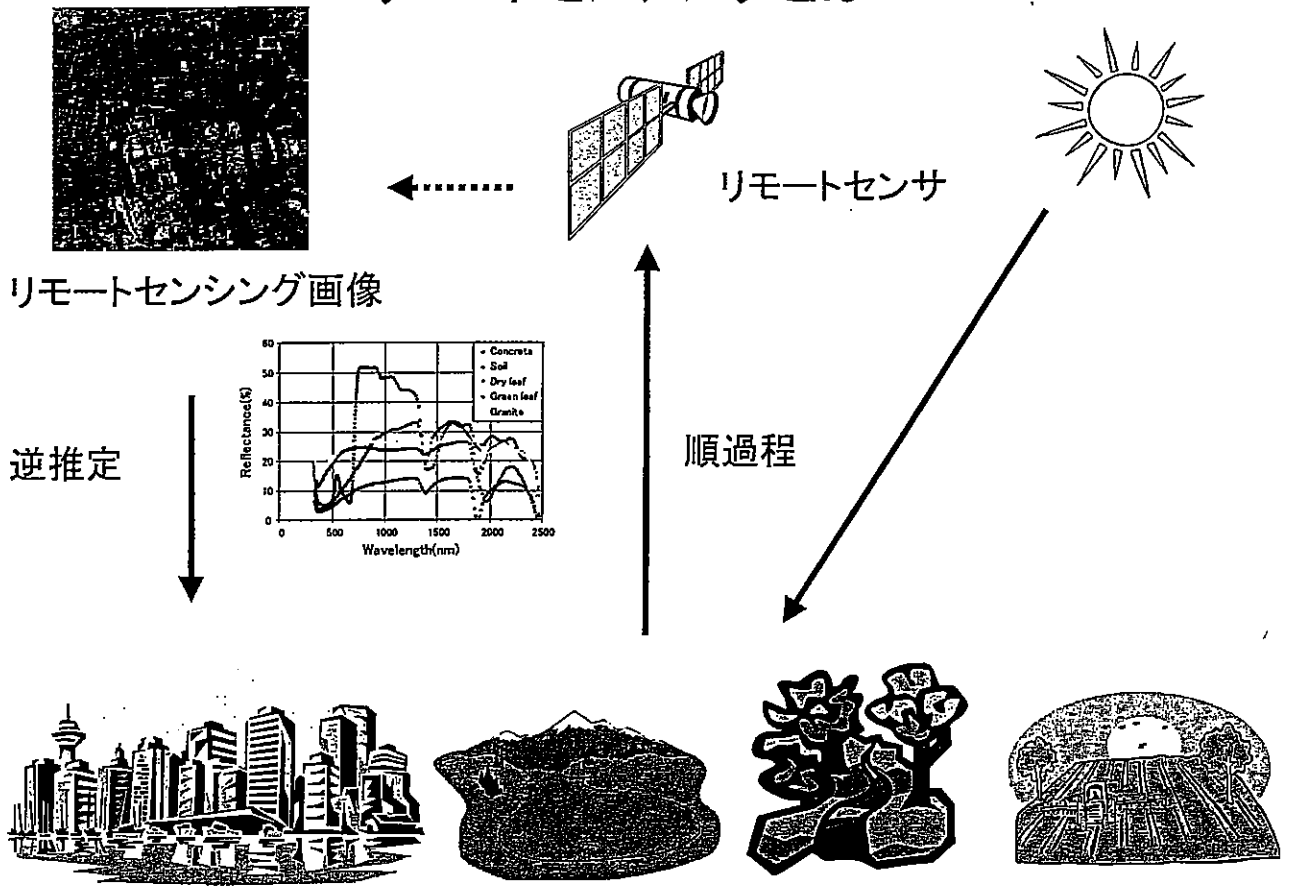
データを取得する必要がある。



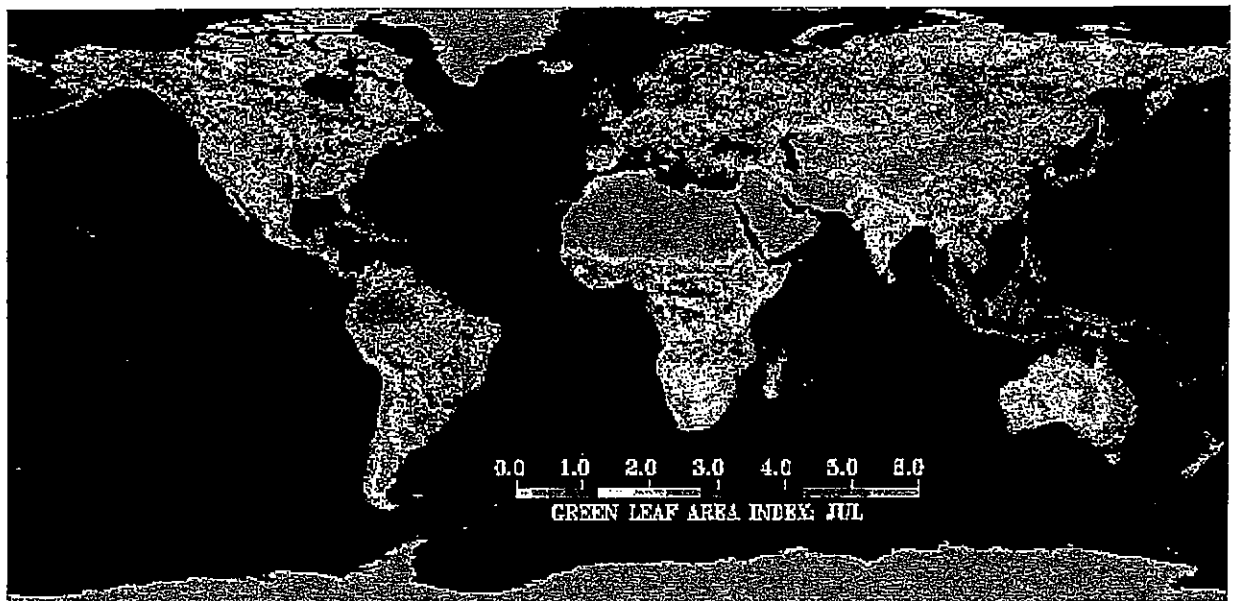
リモートセンシングの利用

34

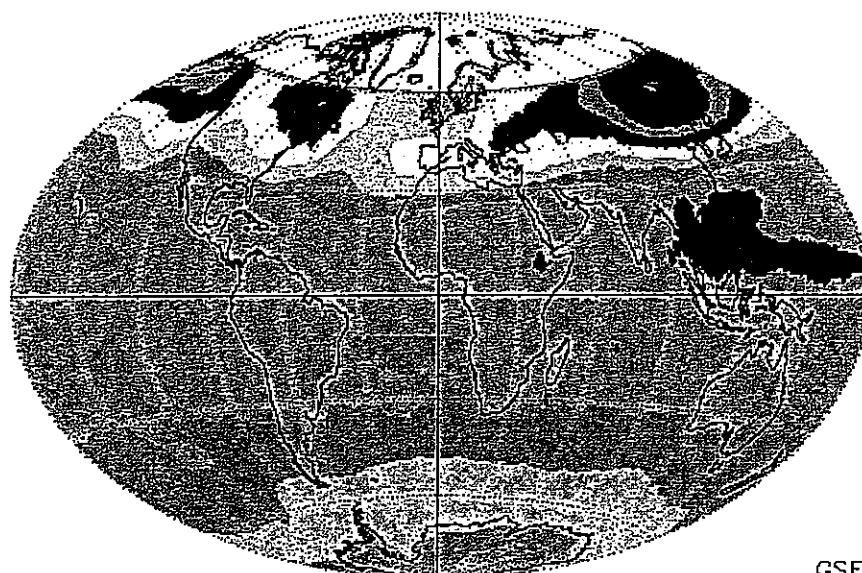
リモートセンシングとは



35



葉面積指数 (LAI) 分布図



Dobson Units
Dark Gray < 100, Red > 500 DU

GSFC/916



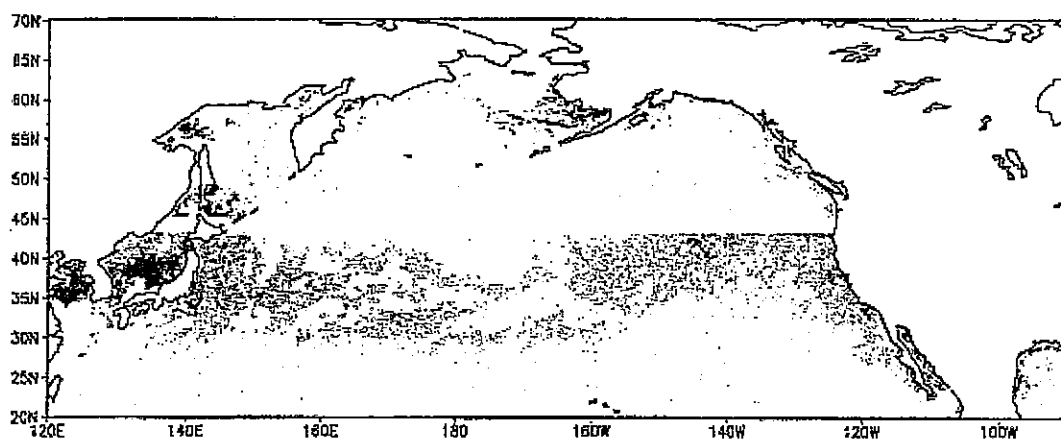
オゾン濃度分布図

2000年1月

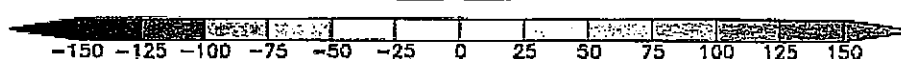
37

海水の $p\text{CO}_2$ 分布図

Apr 1997



Carbon sink ← → Carbon source

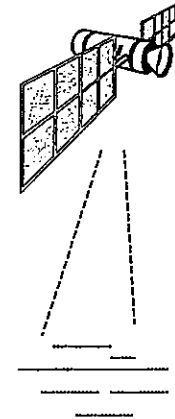
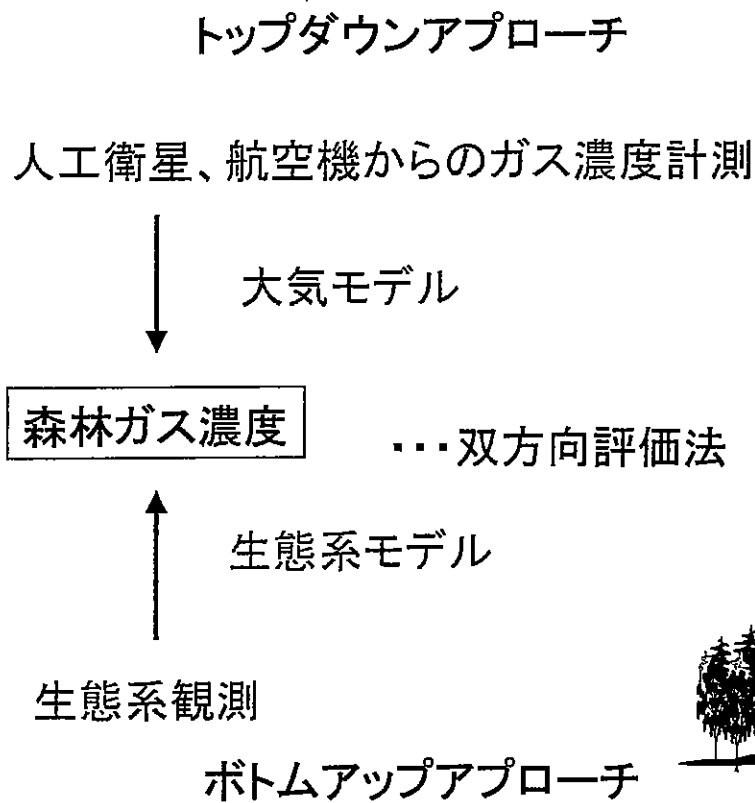


海中のクロロフィル量、水温から推定

Dr. Saino;FRSGC

38

温暖化ガス収支推定の動き



39

温暖化ガス吸収量の計測

ボトムアップアプローチ

A種 の樹木を B本 植栽

↓

A種 の樹木は
C歳 の時、年平均気温 D、
年平均降雨量 E、土壌条件 F
の環境下で G の二酸化炭素を吸収、放出

↓

A種の樹木、B本は H% の温暖化ガス
削減に貢献

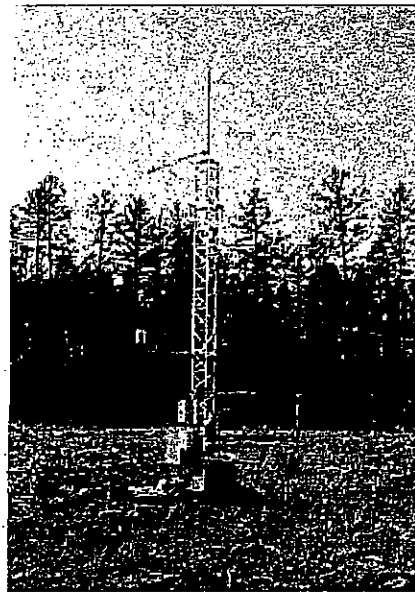
40

地上・タワー観測 (東シベリア・北海道)

RR2002 地球共生プロジェクト
北大・森林総研グループ



森林内タワー
21m



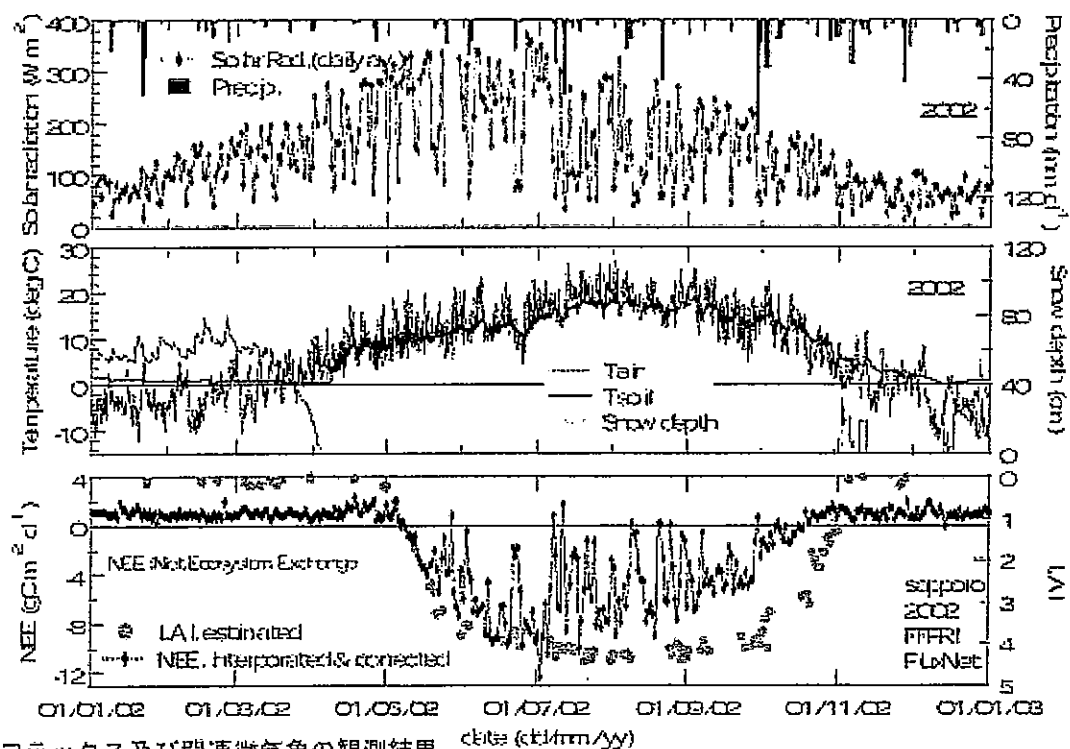
森林攪乱跡地タワー
8m



火災跡地タワー
4m

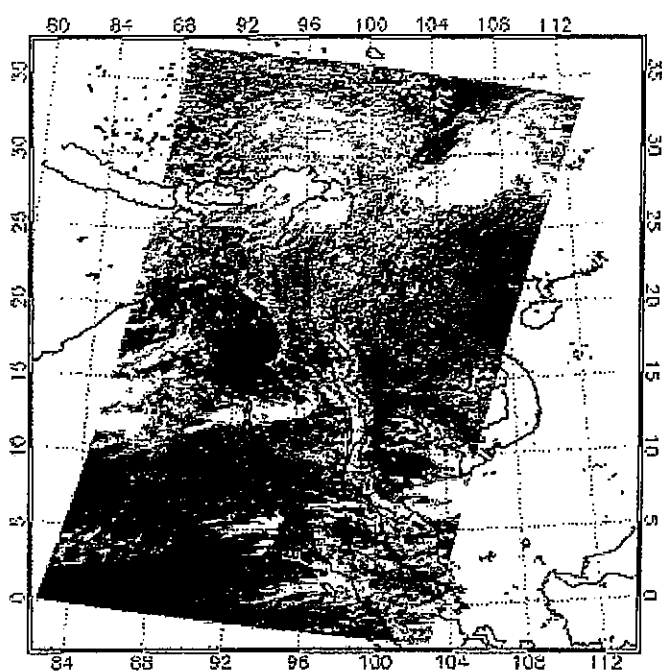
41

森林におけるCO₂ 吸収





地球観測衛星データ



TERRA/MODIS 1000m

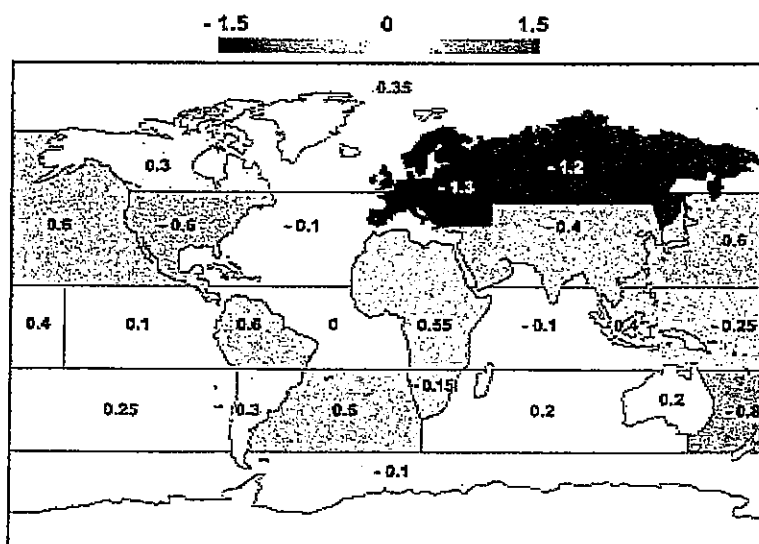
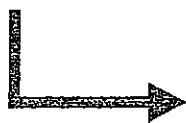
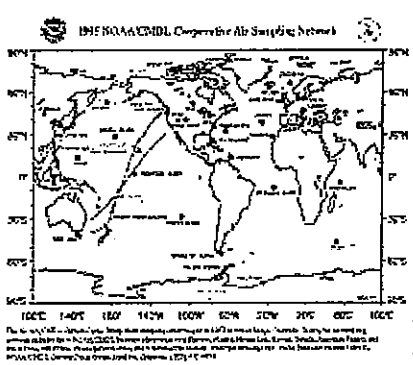


IKONOS 80cm

43



地上観測データからの炭素収支の推定



年平均フラックス (GtC/年) の分布 (区分毎の全フラックス)
(P. Rayner, J. Entang, R. Francey, R. Langenfeldt)

44

温暖化ガス吸収量の計測

トップダウンアプローチ

衛星または航空機より上空での
二酸化炭素濃度を計測（5000m以下）



上記の濃度から、地表面から上空への
拡散等のモデルを逆に解いて、地表面の
濃度を推定

日本： GOSAT (Green-house Gas Observation
Satellite)

米国： OCO

45

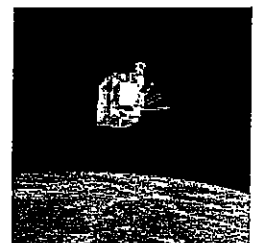
GOSATとは何か？

Greenhouse Gases Observing Satellite

☆ 大気中における温暖化ガスの濃度を
宇宙から計測するセンサー

@ 特に、高度1000m以下のCO₂濃度を
1%の精度で計測するセンサー

フーリエ変換分光(光干渉)方式を採用した
新しいセンサー

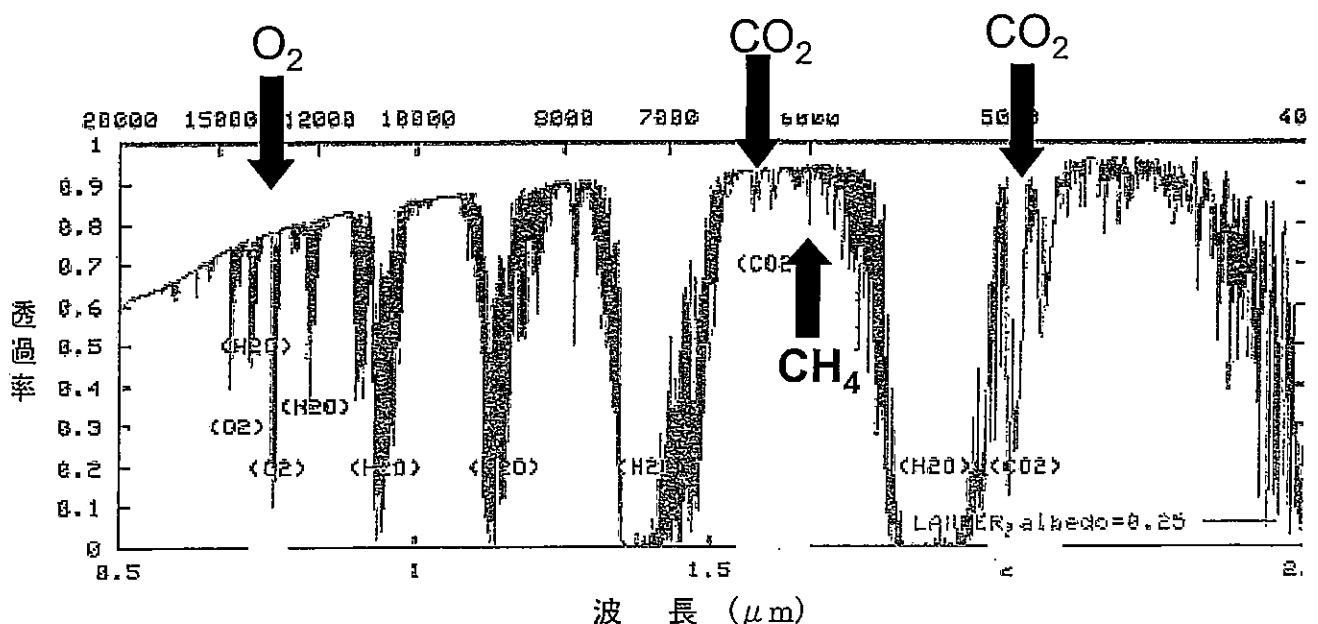


46

- 京都議定書に対応する精度で計測しなければならない
- 人間活動圏（対流圏）を計測しなければならない

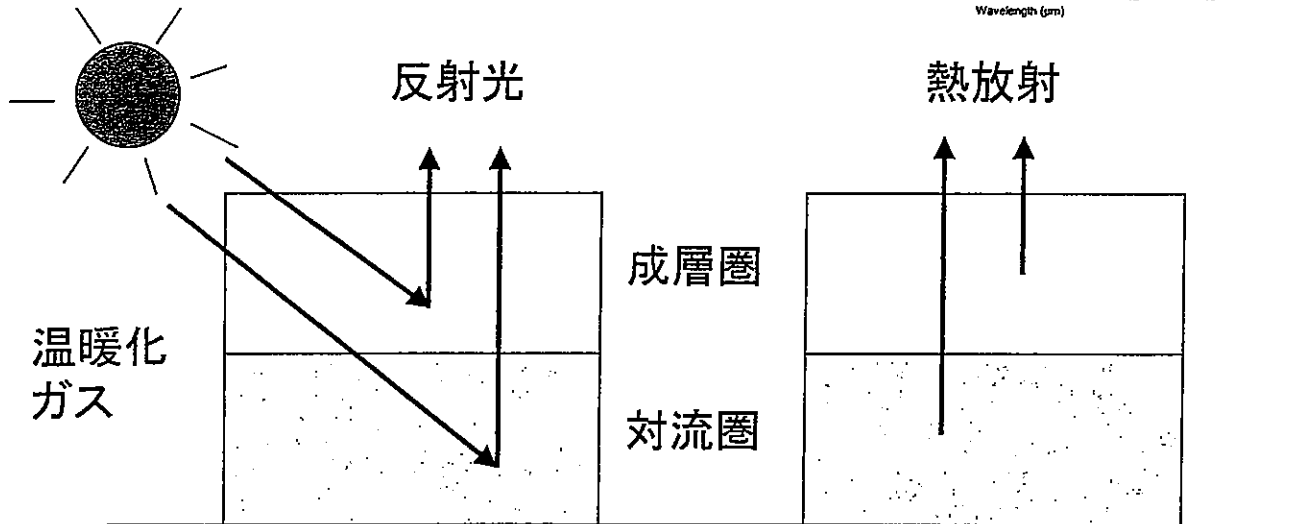
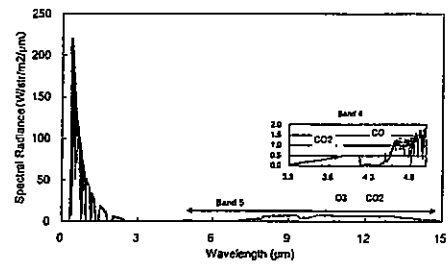
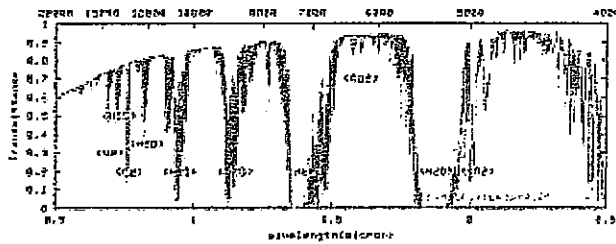
48

- (1) O₂ A-バンド (0.76 μm)
- (2) CO₂ 1.6 μm バンド
- (3) CO₂ 2.0 μm バンド

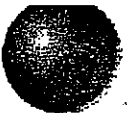




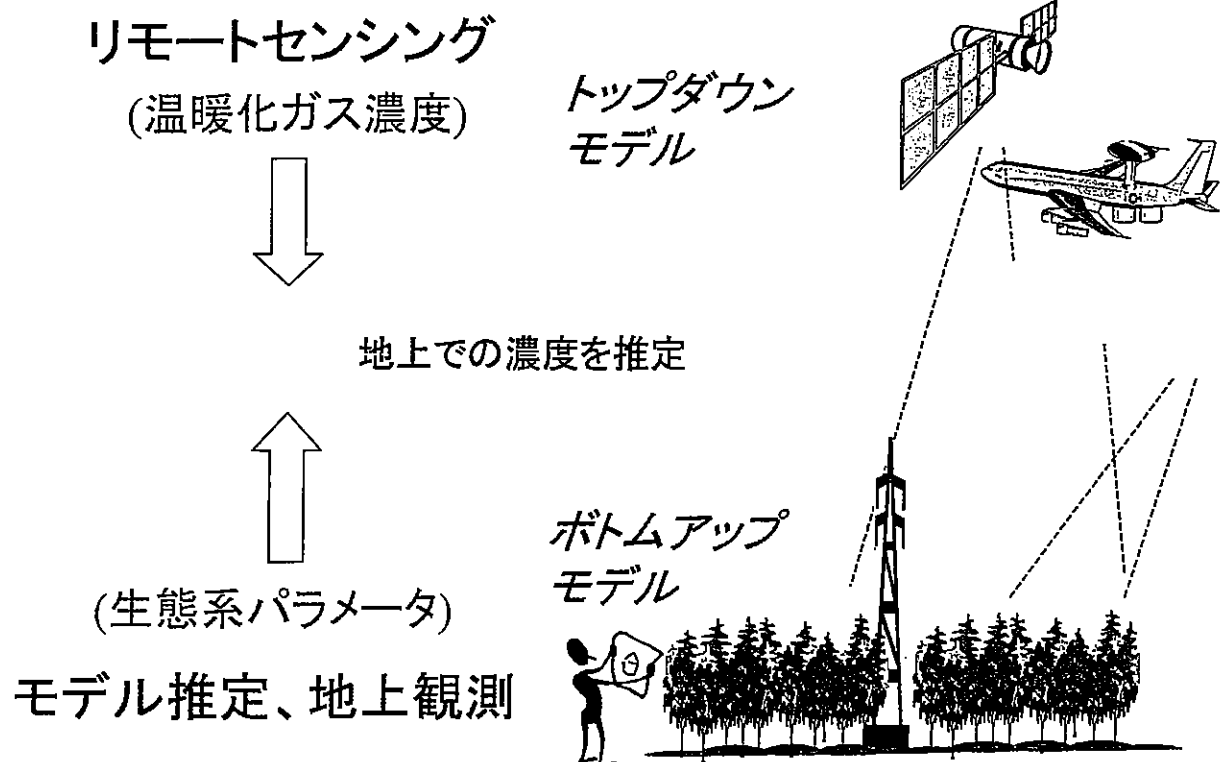
大気からの反射光、熱放射の分光特性計測



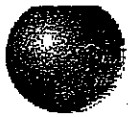
49



トップダウン&ボトムアップによる炭素収支推定



50



観測・予測する技術

ポイント9

リモートセンシングの活用

- ・・・ 新たな衛星、航空機センサの開発

ポイント10

観測とモデルの結合が必要

- ・・・ 新たな情報の創出

ポイント11

情報の標準化と公開

- ・・・ 観測手法の標準化等

51



今後に向けて

ポイント12

国際協力、一国の安全保障、双方の視点から

観測システム・予測モデル開発が必要

- ・・・ アジア・太平洋

ポイント13

観測から対策までの一元管理が必要

- ・・・ 明確な目標

52



地球の観測とは

☆ 地球に関する情報を得ることである

☆ 情報 とは データ + 知識(モデル) である

地球観測には

データのベース + 知識のベース
が必要

53



我々は体の調子が悪いとどうするか？

@ 体温計で体温を測る（脇の下で3分間）

* 顔色、舌を診る、体重を測る

薬を飲む

病院へ行く

* 精密検査をする

* 薬をもらう

* 手当、手術をする

% 節制をする

54



地球は調子が悪いとどうするか？

@ 地球の体温計は？

観測

地球の薬は、病院は？

% まずは節制

& 廃棄物は出さない

& 余計に使わない

& あまり地球を変えない