

国立極地研究所研究集会

「極域における気球観測～これまでの成果とこれからの展望～」

平成20年3月31日

# 極域成層圏大気の微量気体観測と 大気のア平均年代について

宮城教育大・菅原敏

クライオサンプリング実験グループ

JAXA 宇宙科学研究所

国立極地研究所

# クライオ実験の観測項目

微量成分濃度 分析
CO <sub>2</sub>
CH <sub>4</sub>
N <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub>
SF <sub>6</sub>
CF <sub>4</sub>
CFCs

微量成分 質量分析
<sup>13</sup> CO <sub>2</sub> , <sup>14</sup> CO <sub>2</sub>
CO <sup>18</sup> O, CO <sup>17</sup> O
<sup>13</sup> CH <sub>4</sub> , CH <sub>3</sub> D
N <sup>15</sup> NO, <sup>15</sup> NNO, N <sub>2</sub> <sup>18</sup> O

大気主成分 質量分析
O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>
O <sup>18</sup> O
N <sup>15</sup> N

希ガス質量分析
Ar/N <sub>2</sub>

$^{15}\text{N}\text{N}$ , $^{18}\text{O}\text{O}$	Ishidoya, S., S. Sugawara, S. Morimoto, S. Aoki, and T. Nakazawa (2008), <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 35, L03811, doi:10.1029/2007GL030456.
$\text{C}^{17}\text{O}\text{O}$	Kawagucci, S., U. Tsunogai, S. Kudo, F. Nakagawa, H. Honda, S. Aoki, T. Nakazawa, M. Tsutsumi, and T. Gamo, Long-term observation on $^{17}\text{O}$ anomaly in the lower stratospheric $\text{CO}_2$ over Japan, submitted to <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 2007.
$\text{CH}_4$	Rohs, S., C. Schiller, M. Riese, A. Engel, U. Schmidt, T. Wetter, I. Levin, T. Nakazawa, S. Aoki, Long-term changes of methane and hydrogen in the stratosphere in the period 1978-2003, <i>J. Geophys. Res.</i> , 111, D14315, doi:10.1029/2005JD006877, 2006.
$\text{O}_2/\text{N}_2$	Ishidoya, S., S. Sugawara, G. Hashida, S. Morimoto, S. Aoki, T. Nakazawa, and T. Yamanouchi, Vertical profiles of the $\text{O}_2/\text{N}_2$ ratio in the stratosphere over Japan and Antarctica, <i>Geophys. Res. Lett.</i> , L13701, doi:10.1029/2006GL025886., 2006.
$\text{N}_2\text{O}$ , $\text{CH}_4$ (ILAS val)	Ejiri, M. K., Y. Terao, T. Sugita, H. Nakajima, T. Yokota, G. Toon, B. Sen, G. Wetzel, H. Oelhaf, J. Urban, D. Murtagh, H. Irie, N. Saitoh, T. Tanaka, H. Kanzawa, M. Shiotani, H. Kobayashi, S. Aoki, G. Hashida, T. Machida, T. Nakazawa, and Y. Sasano, Validation of ILAS-II V1.4 nitrous oxide and methane profiles, <i>J. Geophys. Res.</i> , 111, D22S90, doi:10.1029/2005JD006449, 2006.
$\text{N}_2\text{O}$ isotopomer	Toyoda, S., N. Yoshida, T. Urabe, Y. Nakayama, T. Suzuki, K. Tsuji, K. Shibuya, S. Aoki, T. Nakazawa, S. Ishidoya, K. Ishijima, S. Sugawara, T. Machida, G. Hashida, S. Morimoto, and H. Honda, Temporal and latitudinal distributions of stratospheric $\text{N}_2\text{O}$ isotopomers, <i>JGR</i> , 109, D08308, doi:10.1029/2003JD004316, 2004.
$\text{CO}_2$	Aoki, S., T. Nakazawa, T. Machida, S. Sugawara, S. Morimoto, G. Hashida, T. Yamanouchi, K. Kawamura and H. Honda, Carbon dioxide variations in the stratosphere over Japan, Scandinavia and Antarctica, <i>Tellus B</i> , 55, 178-186, 2003.
$\text{CO}_2$ , $\text{N}_2\text{O}$ , $\text{CH}_4$ , others	Nakazawa, T., S. Aoki, K. Kawamura, T. Saeki, S. Sugawara, H. Honda, G. Hashida, S. Morimoto, N. Yoshida, S. Toyoda, Y. Makide and T. Shirai, Variations of stratospheric trace gases measured using a balloon-borne cryogenic sampler, <i>Advances in Space Research</i> , 30, 1349-1357, 2002.

## 今(今後)ホットな話題・・・

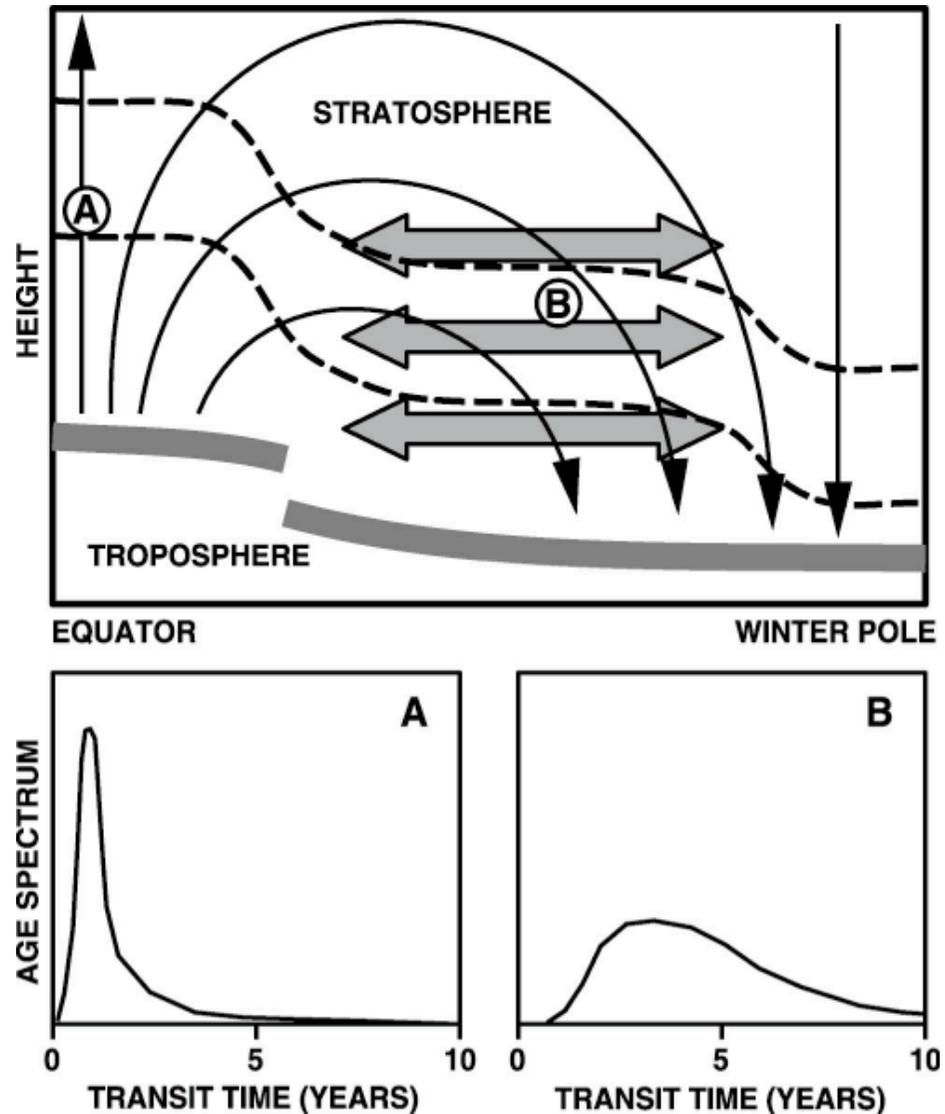
- 成層圏大気の平均年代のトレンド、ブリューワ・ドブソン循環の長期変化
- 成層圏における重力分離の科学

地球温暖化に伴って成層圏の循環場はどのように変化するのか？ブリューワ・ドブソン循環は強化されるのか？

空気の「年代」の変化？

- ・長期的な化学・放射・力学のカップリングの問題
- ・オゾン破壊物質(ODS)の寿命の変化、オゾンの将来予測にも重要

化学気候モデル(CCM)の可能性



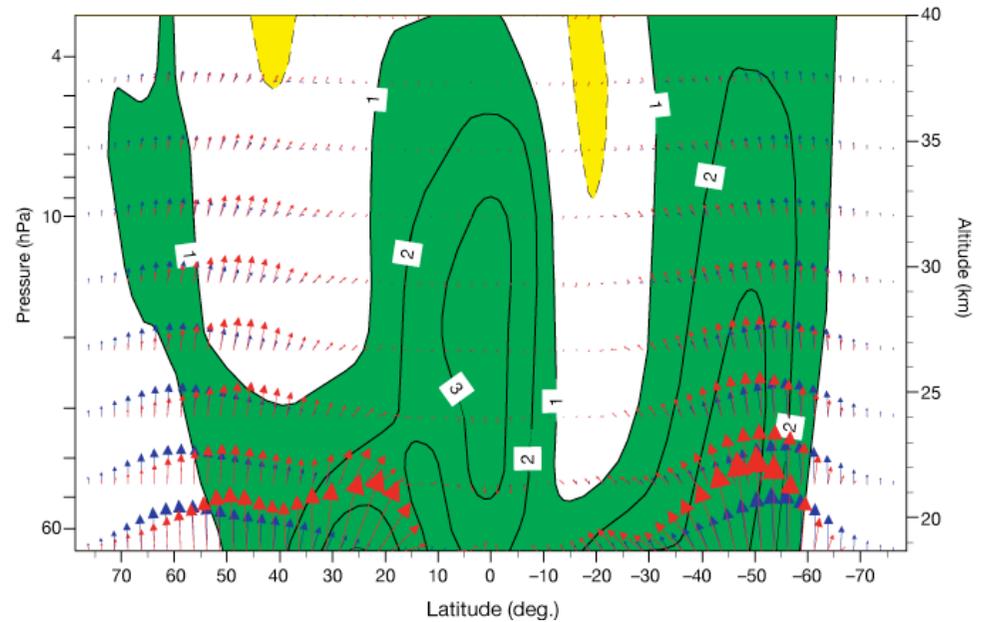
(from Waugh and Hall, 2002)

## CCMによる予測

- ・成層圏へのプラネタリー波動の伝播が強化

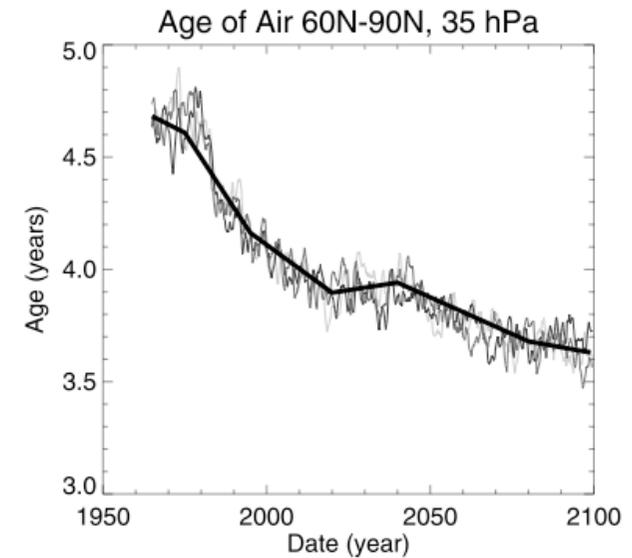
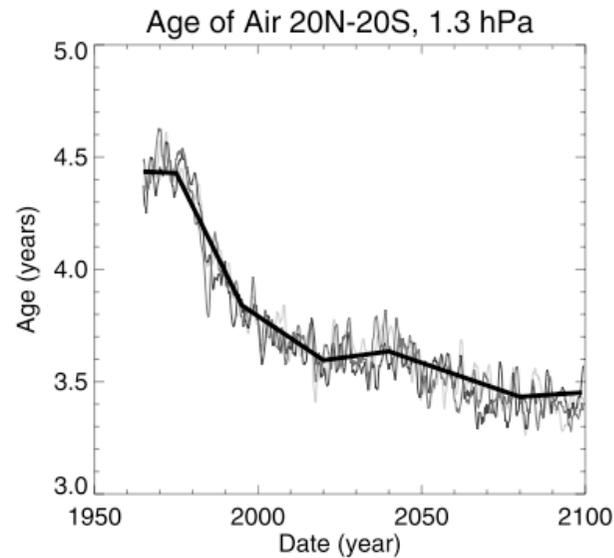
- ・B-D循環が加速される

(ODSの除去が早まり、オゾンの回復時期も早まる)



(from Butchart and Scaife, Nature, 2001)

平均年代が短くなる



(from Austin and Li, GRL, 2006)

## 課題

「B-D循環の強化」は本当なのか？

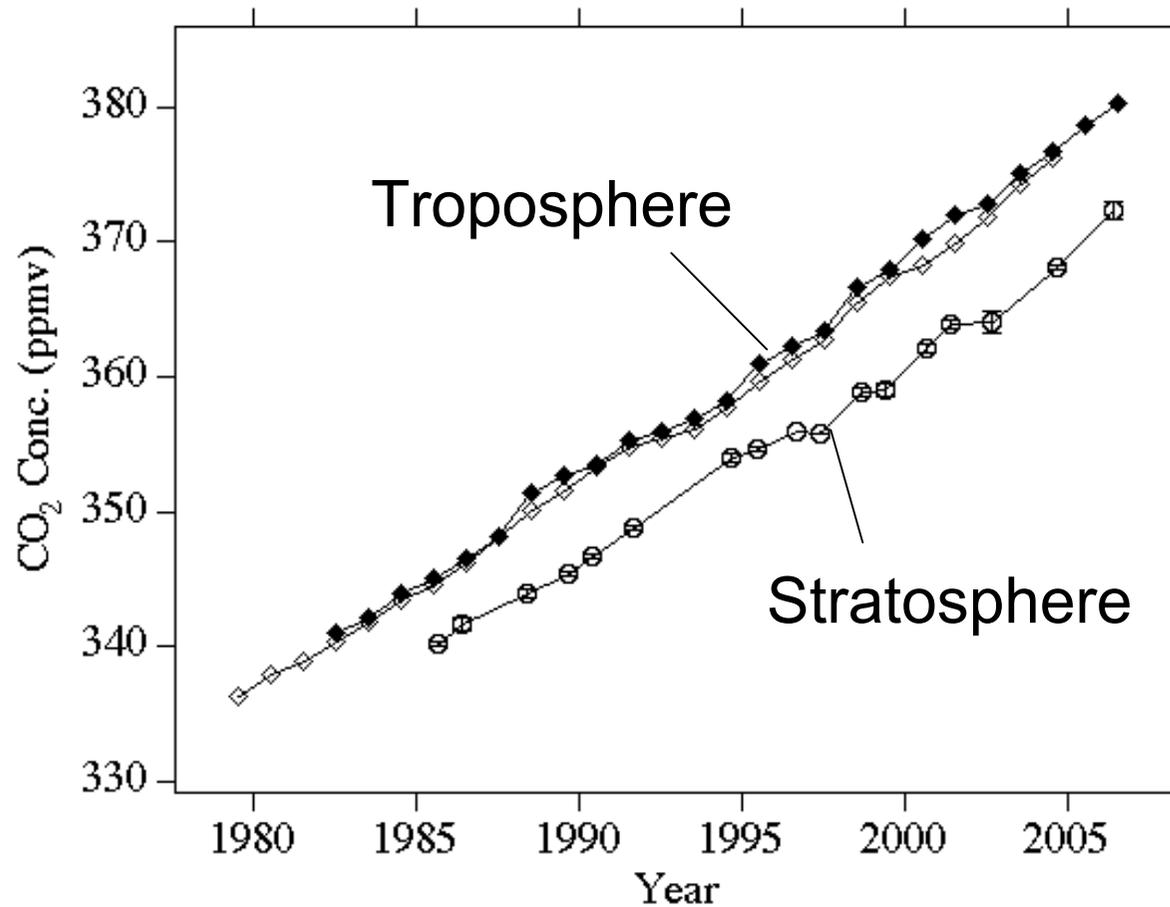
観測によってモデル予測を検証することは可能なのか？

## 可能性

B-D循環の長期変動(力学過程)を分離・検出するためには、「化学反応に関わらない化学物質」の動態を調べることが有効

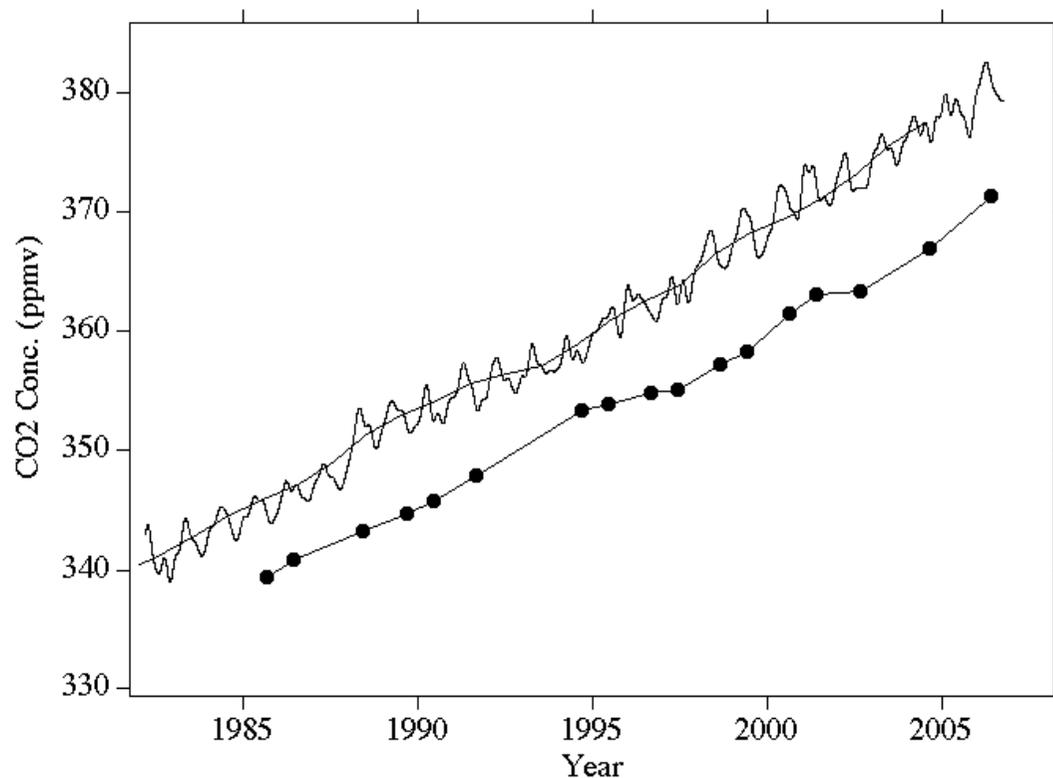
CO<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>などの安定気体から年代を推定する

三陸実験では20年間のレコード  
年代のトレンドを検出可能



※ドイツのグループでは30年前の成層圏大気アーカイブを保有している

## 平均年代の推定方法

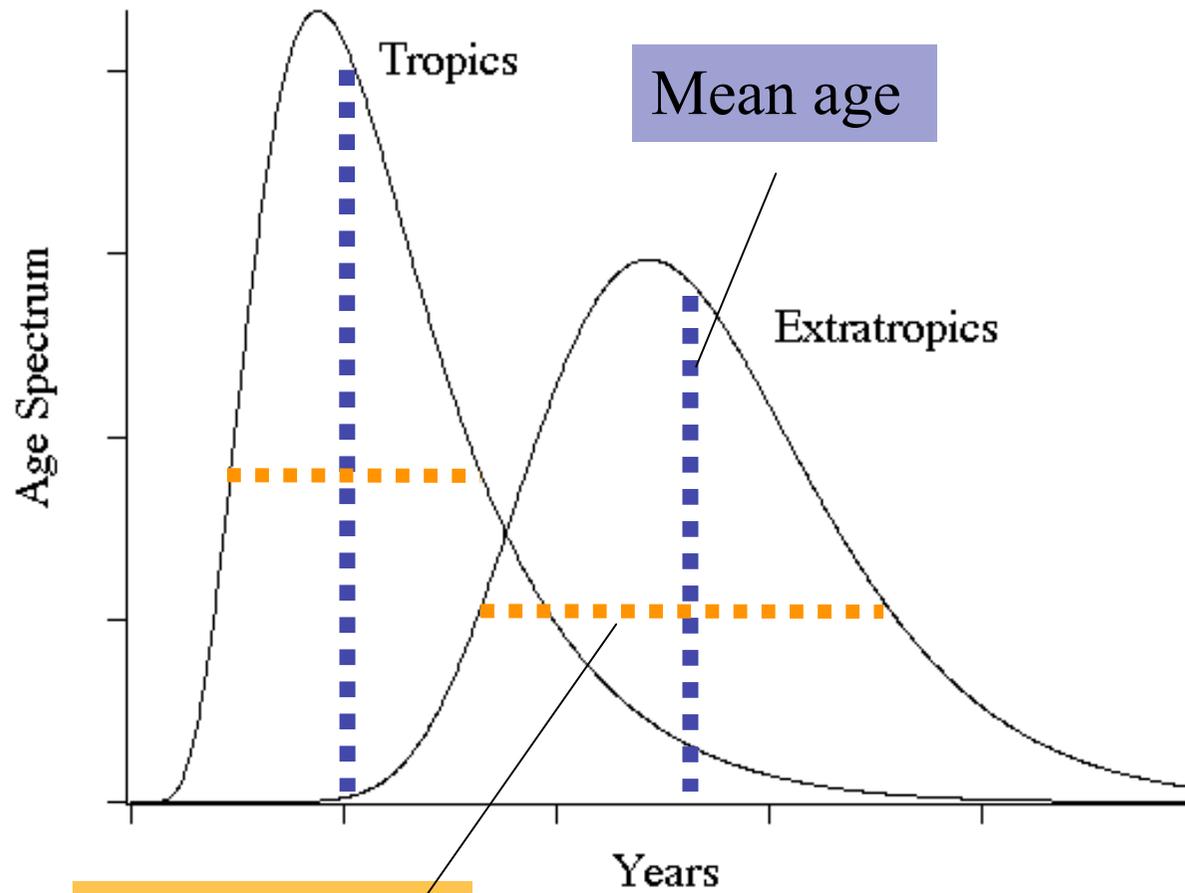


対流圏の変動を  
どのようにスムー  
ジングするか？

Ageはスムージン  
グファクターに強く  
依存する

Age に応じてスムージングを変化させる必要がある  
年代分布 (Age spectrum) を仮定する

# Age spectrum of stratospheric air



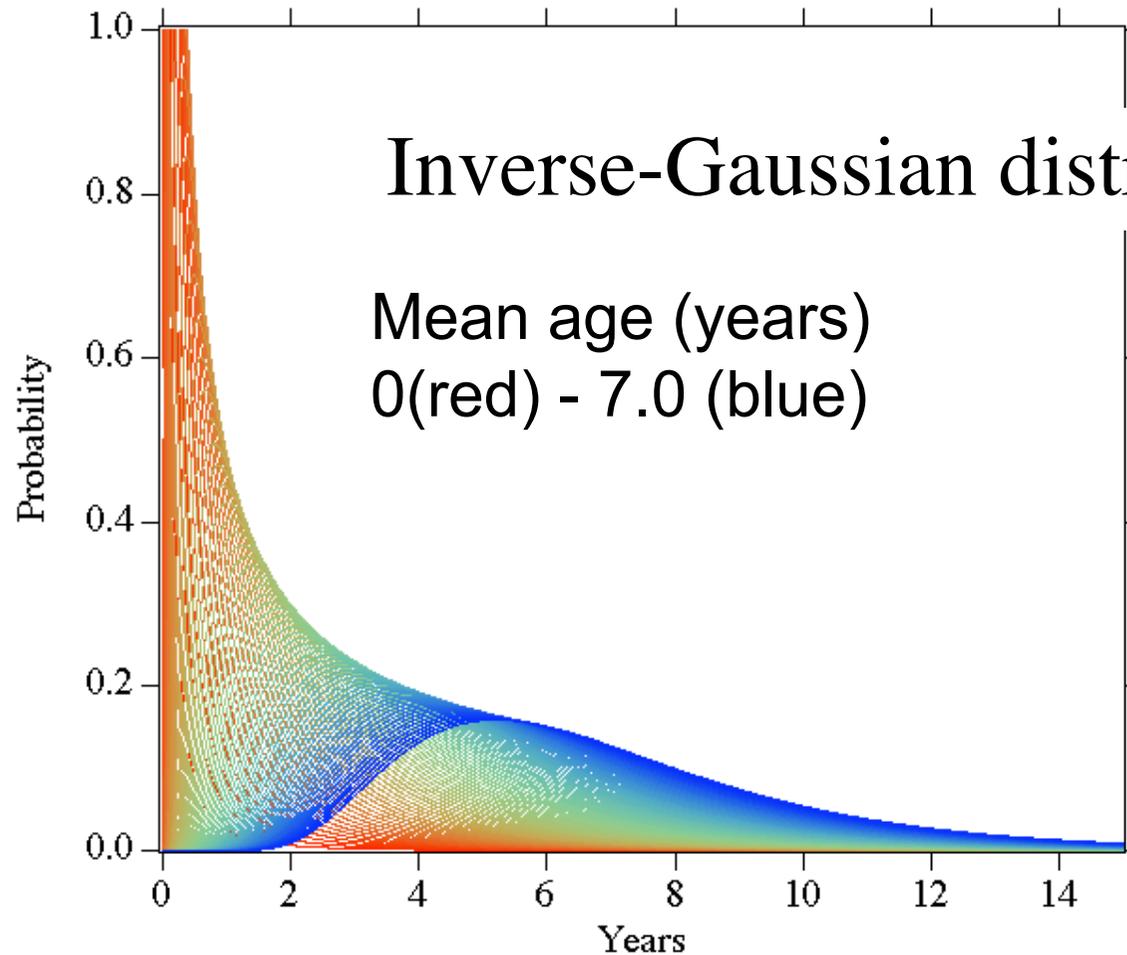
Width of age spectrum

実験的に求めることは不可能

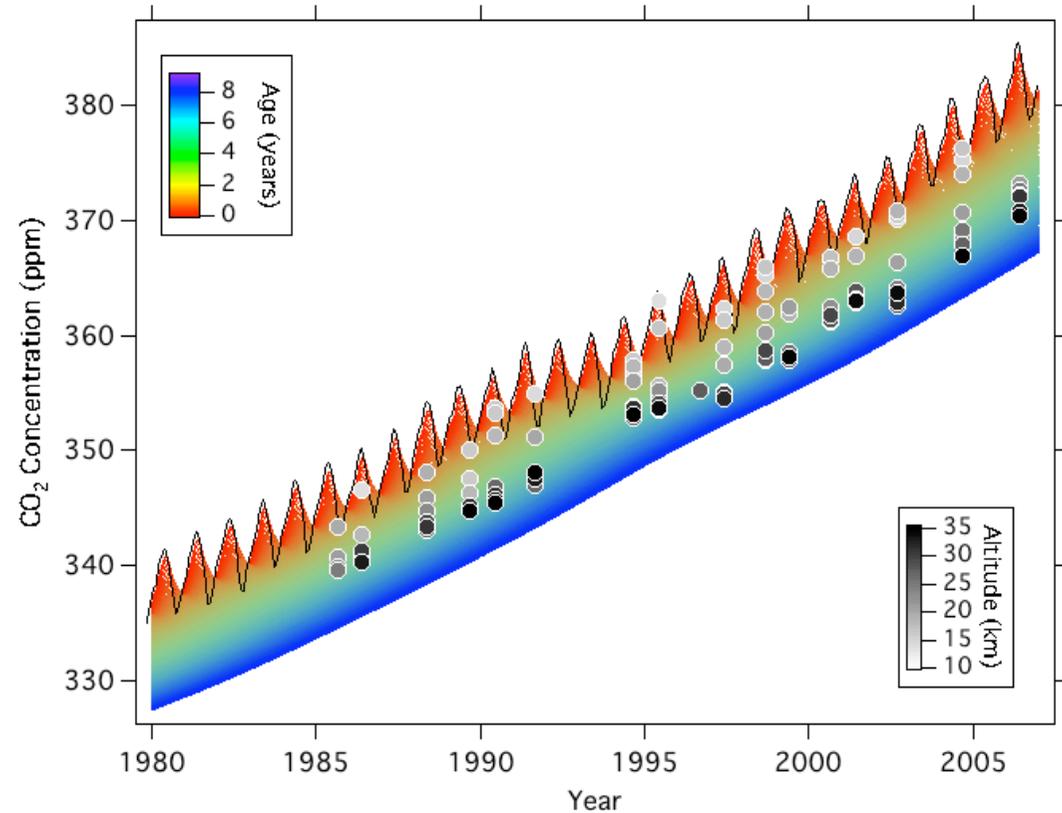
Theoretical expression for 1-D atmosphere

$$G = \frac{z}{2\sqrt{\pi K(t - t_{off})^3}} \exp\left(\frac{z}{2H} - \frac{K(t - t_{off})}{4H^2} - \frac{z^2}{4K(t - t_{off})}\right)$$

Hall and Plumb (1994, JGR)



年代分布関数でスムージングした濃度変動のカーブと観測値(メタン酸化を補正後の値)を比較する



三陸実験では……

過去20年間に平均年代が低下する傾向は見られていない

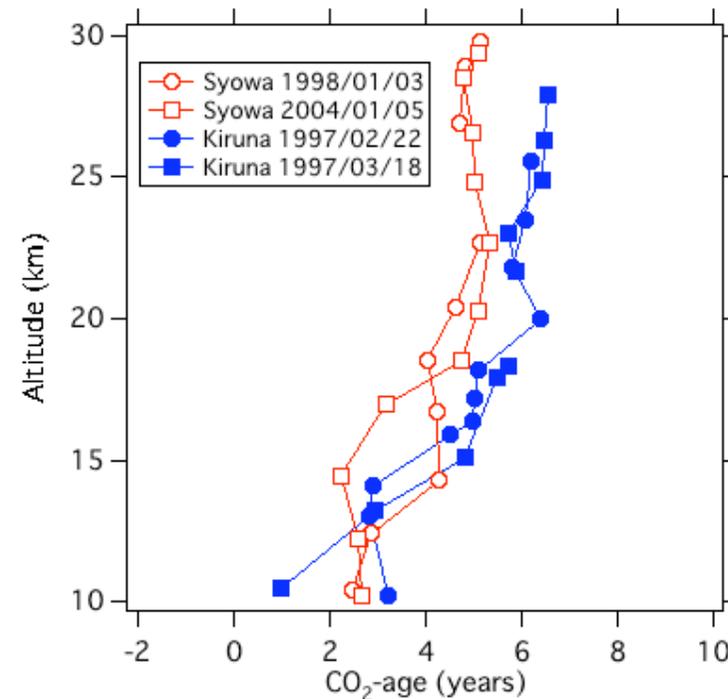
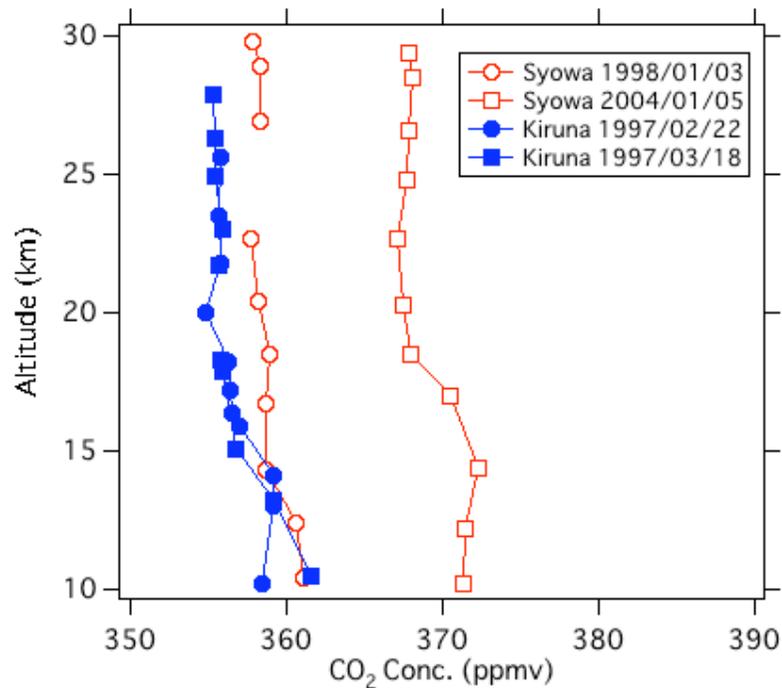
(高度20~35km付近での平均)

# 極域での観測

スウェーデン・キルナ(1997年2、3月 極渦内部)

昭和基地(39次夏、45次夏、49次夏JT)

観測が少なく、トレンドの議論はできない



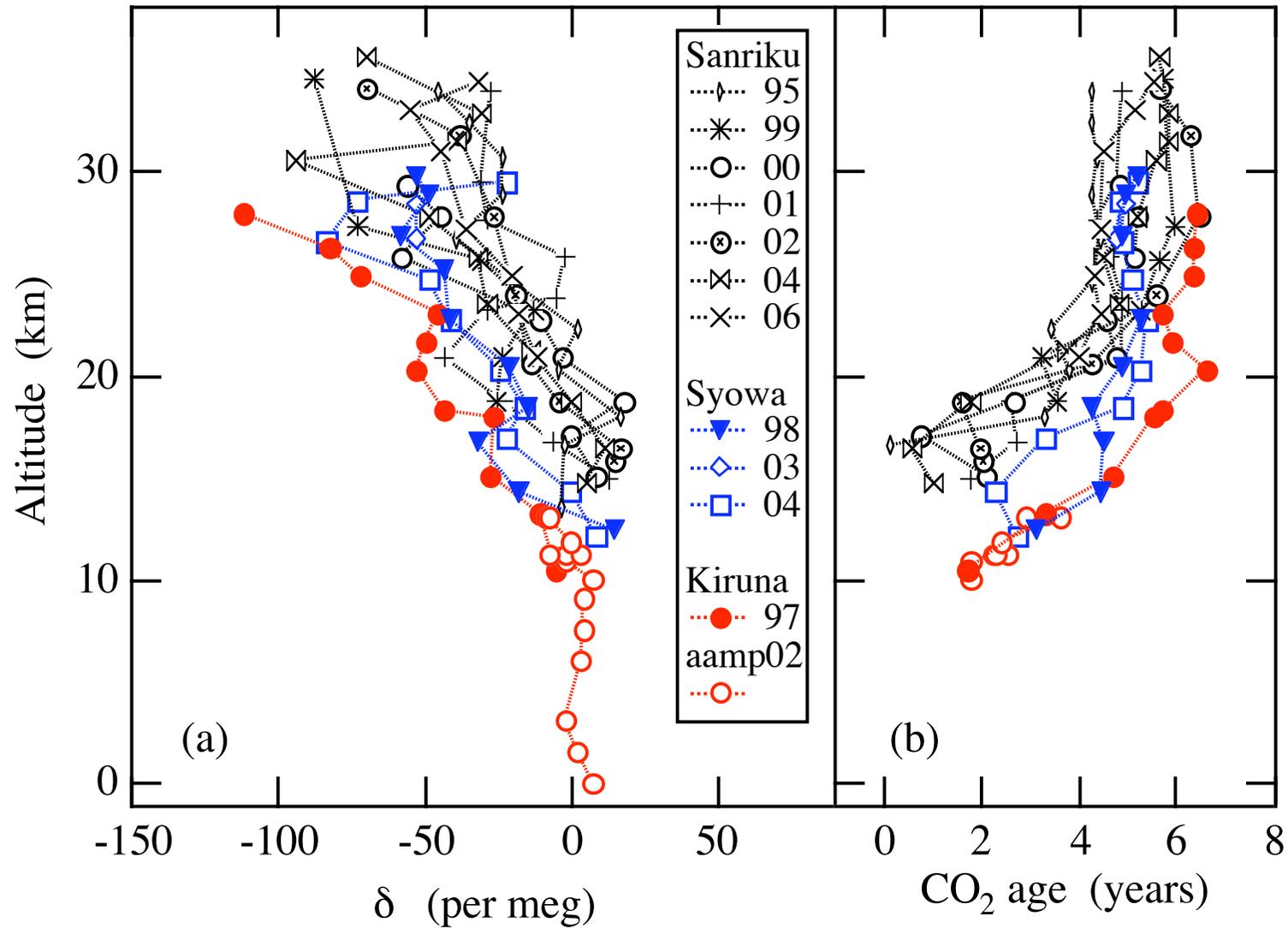
20km以上での平均

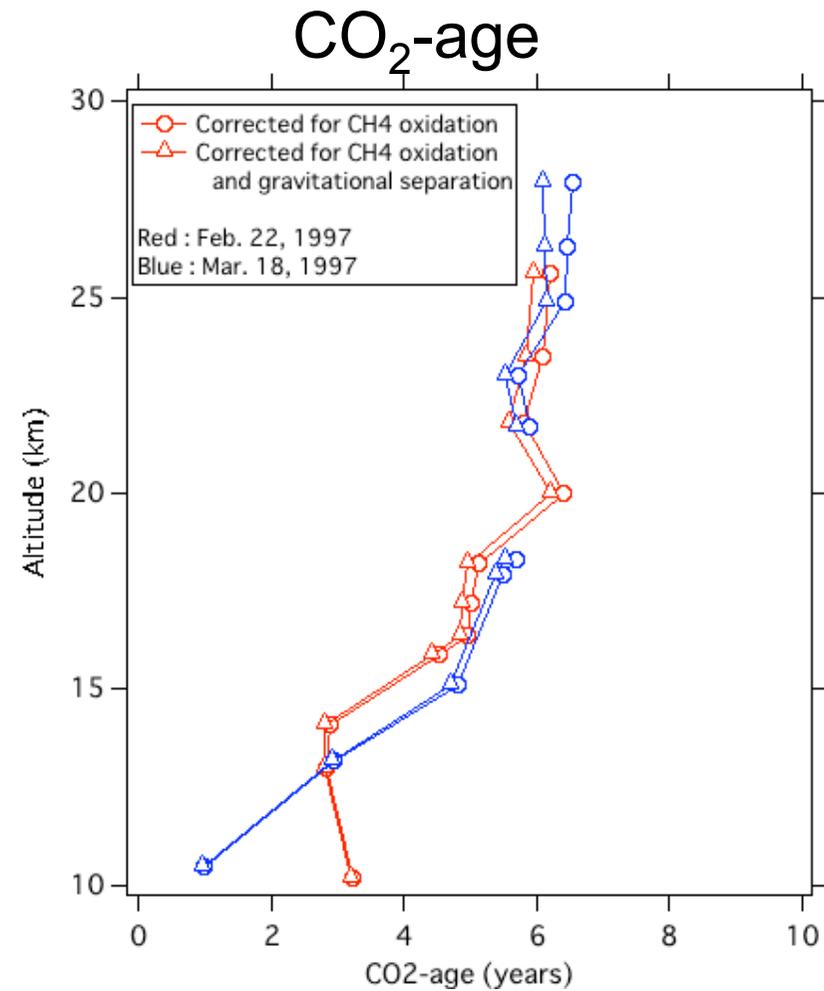
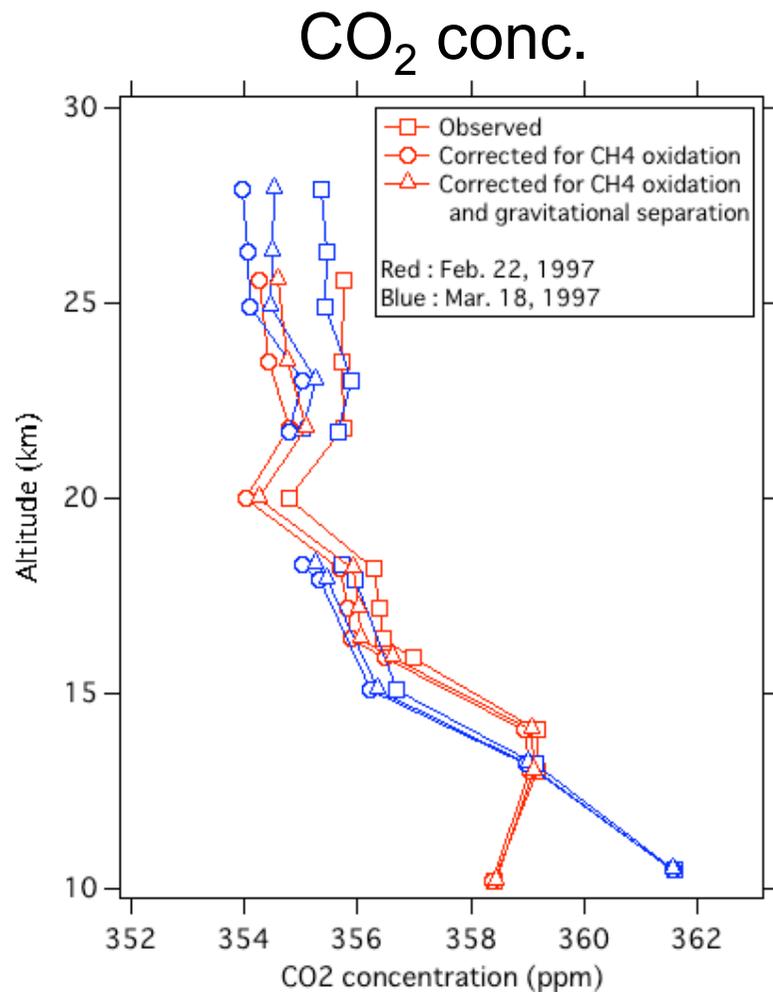
北極極渦 1997年:  $6.2 \pm 0.3$ 年

南極 1998年:  $4.9 \pm 0.2$ 年、 2004年:  $5.0 \pm 0.2$ 年

# 初めて成層圏で検出された気体の重力分離

*Ishidoya et al. (GRL, 2008)*





Correction for gravitational separation = -0.4 years above 20km

## まとめ

- ・国内の気球観測では平均年代の長期傾向を検出できる
- ・中緯度の”Overworld”では平均年代が短くなる傾向は見られない。(むしろ正のトレンドがある)単純にB-D循環が強化されるとは言えない。上層と下層の相違の可能性。
- ・極域では観測が少なく、現時点ではトレンドを検出できない(気球では年1回程度の頻度が必要、多高度観測、アーカイブの確保) 小型軽量の観測器(JTサンプラ)の活用の可能性
- ・極域(特に極渦内)では、正確な年代の推定のために重力分離が無視できない
- ・重力分離が新たな成層圏ダイナミクスのトレーサーになる(かもしれない)