

(To be published in *Nature*)

A signature of cosmic-ray increase
in AD774-775 from tree rings in Japan

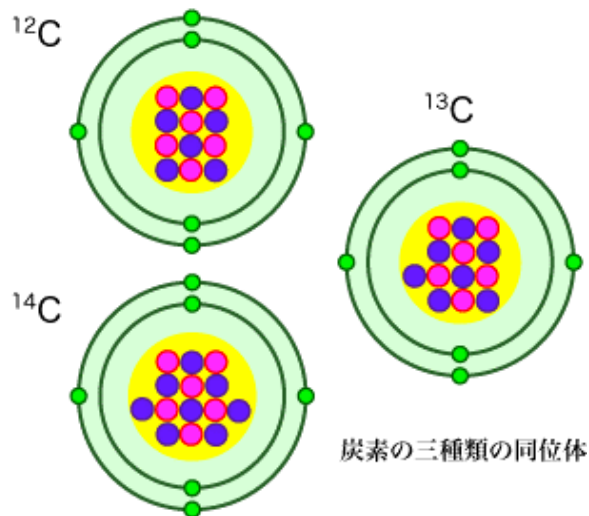
日本産樹木年輪中の西暦774-775年における宇宙線増加の痕跡

三宅芙沙, 永治健太郎, 増田公明
名古屋大学太陽地球環境研究所

中村俊夫
名古屋大学年代測定総合研究センター




要 点

- 西暦775年に大気中の放射性炭素(炭素14)濃度が急激に増加したことを発見
- この炭素14の増加率は、通常の太陽活動による変動率より20倍も大きく、過去3,000年間で最大級の宇宙線量の急激な増加があったと考えられる
- 原因については、いくつかの可能性はあるが、特定には至っていない
- 今回のように過去の大きな宇宙環境の変動を詳細に調べ、地球環境との関連を解析することは、これからの地球環境変動を予測する上で非常に重要である。

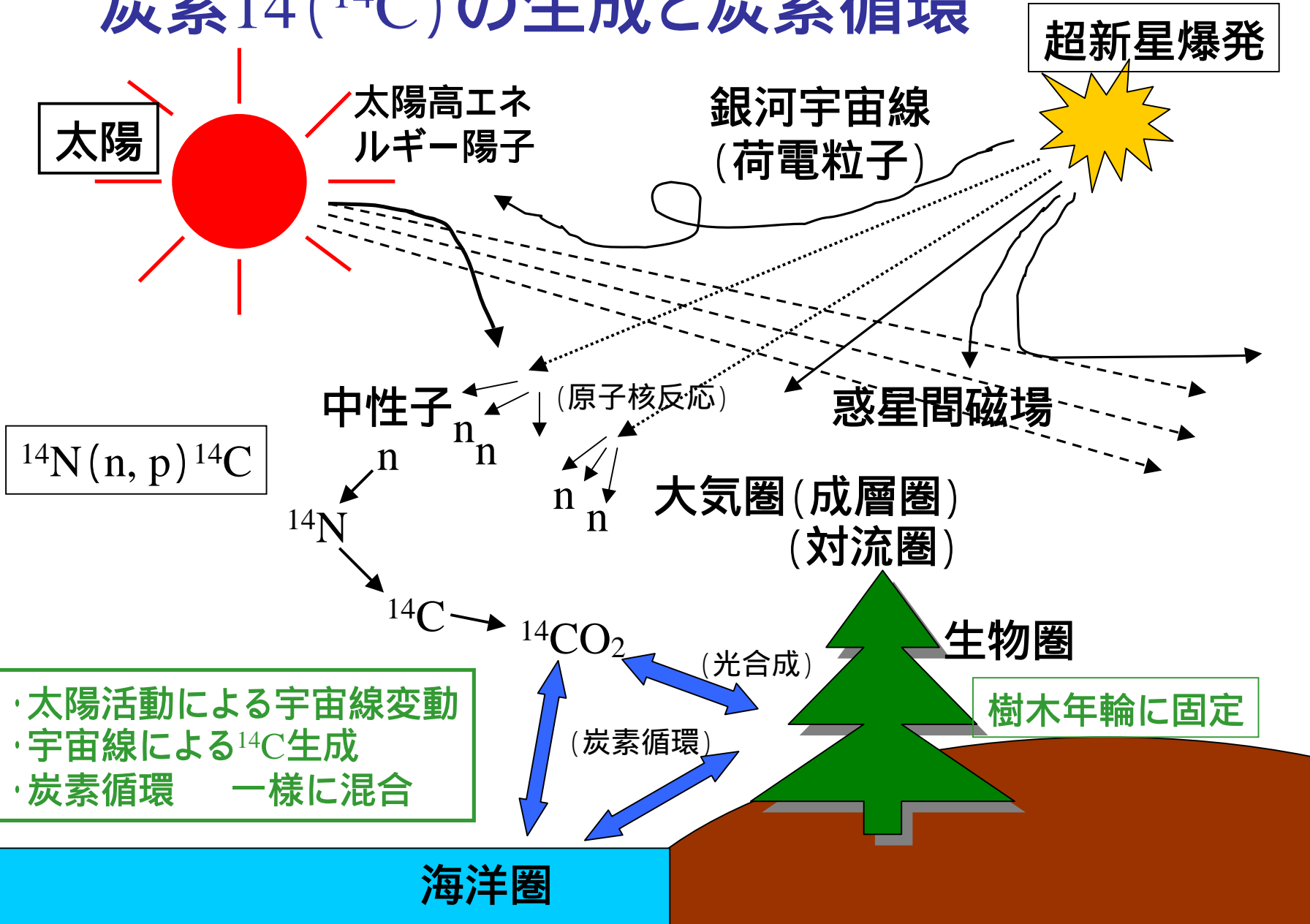


自然界の炭素同位体

- ・安定な ^{12}C , ^{13}C , 放射性炭素 ^{14}C
- ・ ^{14}C は, 銀河宇宙線の原子核反応によって大気中で作られ, $^{14}\text{CO}_2$ になる
- ・ ^{14}C は不安定な放射性同位体で半減期は5730年, 年代測定に利用

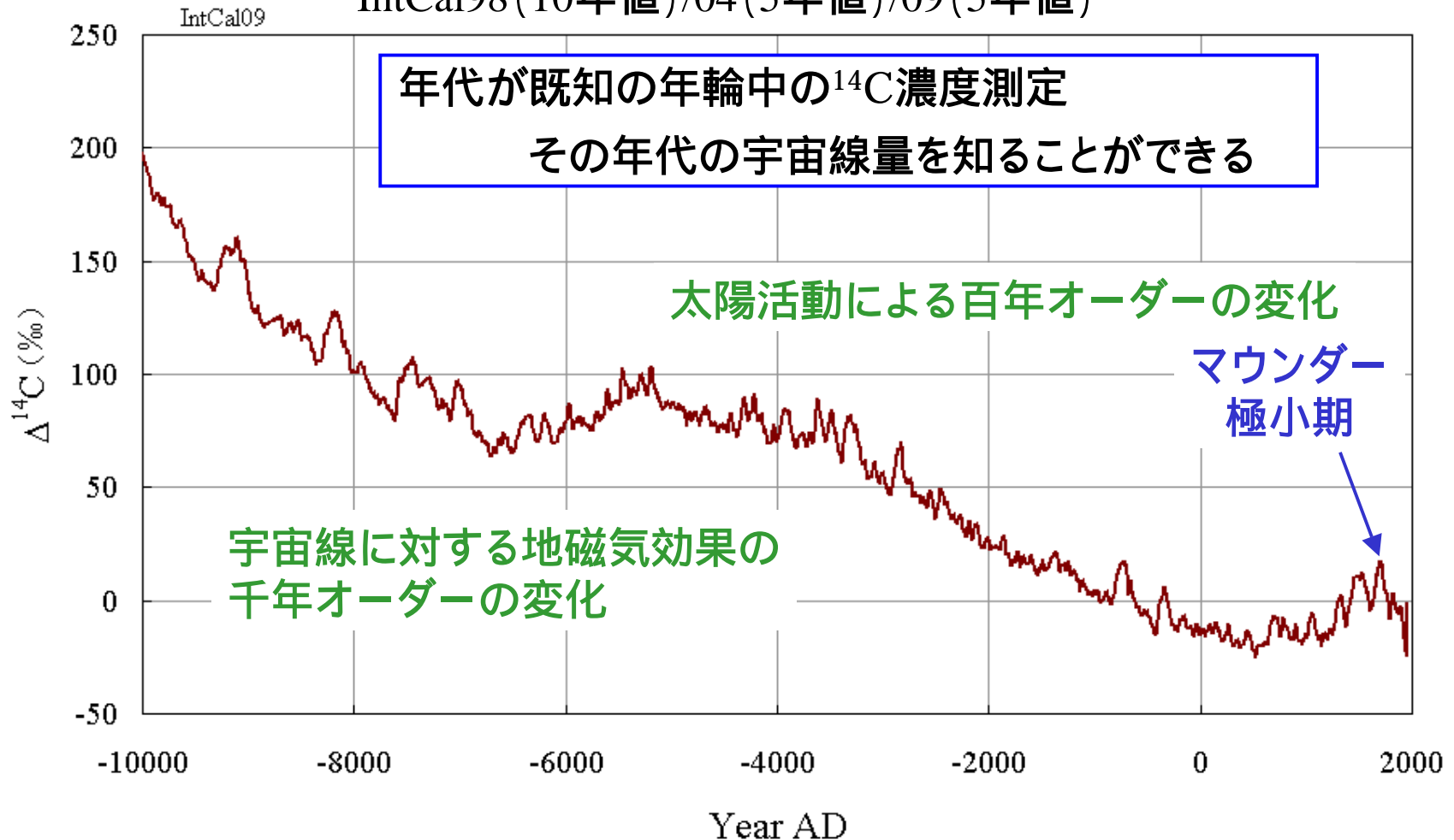
同位体	^{12}C	^{13}C	^{14}C
電子数 	6	6	6
陽子数(Z) 	6	6	6
中性子数(N) 	6	7	8
質量数(A)	12	13	14
天然の存在量	98.89 %	1.11 %	約1兆分の1

炭素14 (^{14}C) の生成と炭素循環



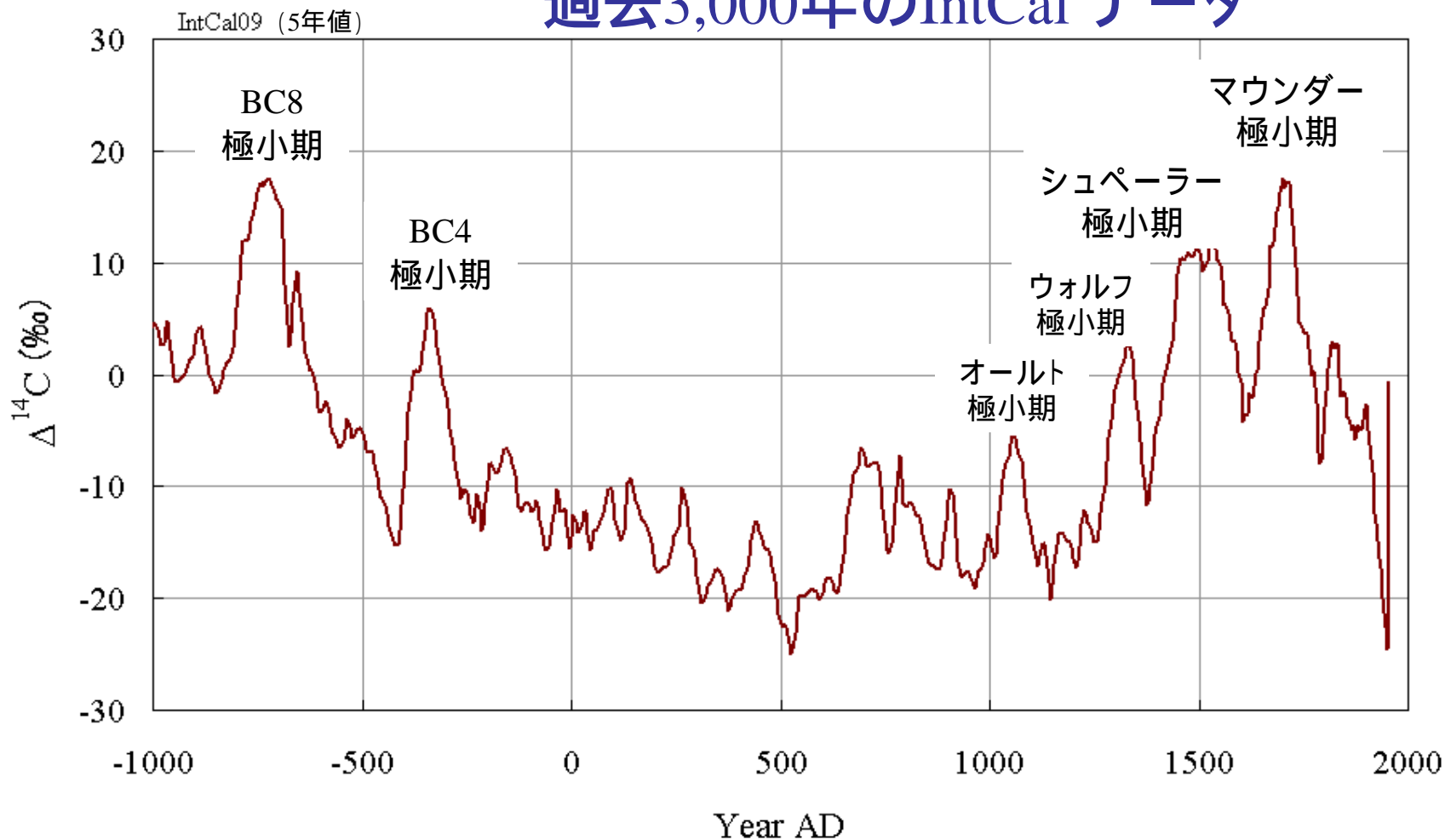
過去12,000年の ^{14}C 較正曲線 IntCal09

IntCal98 (10年値)/04 (5年値)/09 (5年値)



本研究の内容: 過去3千年間で ^{14}C 量が短期間に増加する現象を調べ, 宇宙線環境の変化を明らかにする。

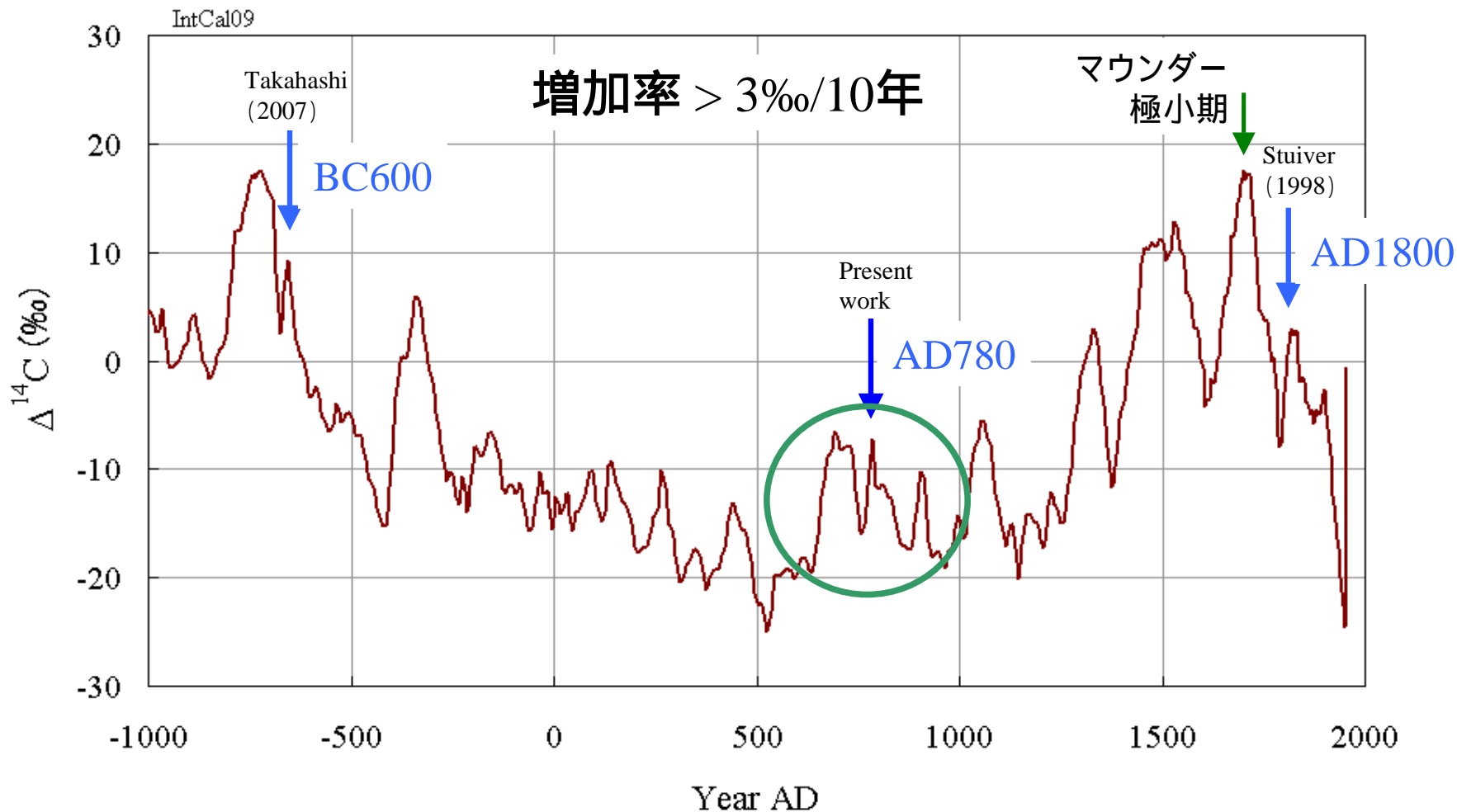
過去3,000年のIntCal データ



過去3,000年の ^{14}C の急激な変化

(3度の急激な増加(青矢印)

そのうち2度は測定済)



8世紀の年輪試料

測定試料(単年輪)

Tree-A 屋久杉(名古屋大)

Series 1: 750-820年 1年おき

Series 2: 774-780年 1年ずつ

Tree-B 屋久杉(福島大)

Series 3: 770-779年 1年ずつ

¹⁴C測定

加速器質量分析計(AMS)

@名古屋大学年代測定総合研究センター

屋久杉

直径 1.9 m
厚さ 30 cm
樹齡 1900年
残存年輪
AD97-1551

屋久島・上屋
久町石塚
1956年伐採
1995年入手



試料調製(三宅) @ 太陽地球環境研究所 ¹⁴C実験室

測定試料の準備

年輪の切り出し

酸・アルカリ洗淨
リグニン除去
セルロース抽出
CO₂へ変換

CO₂精製(真空・低温トラップ)

グラファイトへ還元
AMS用ターゲット



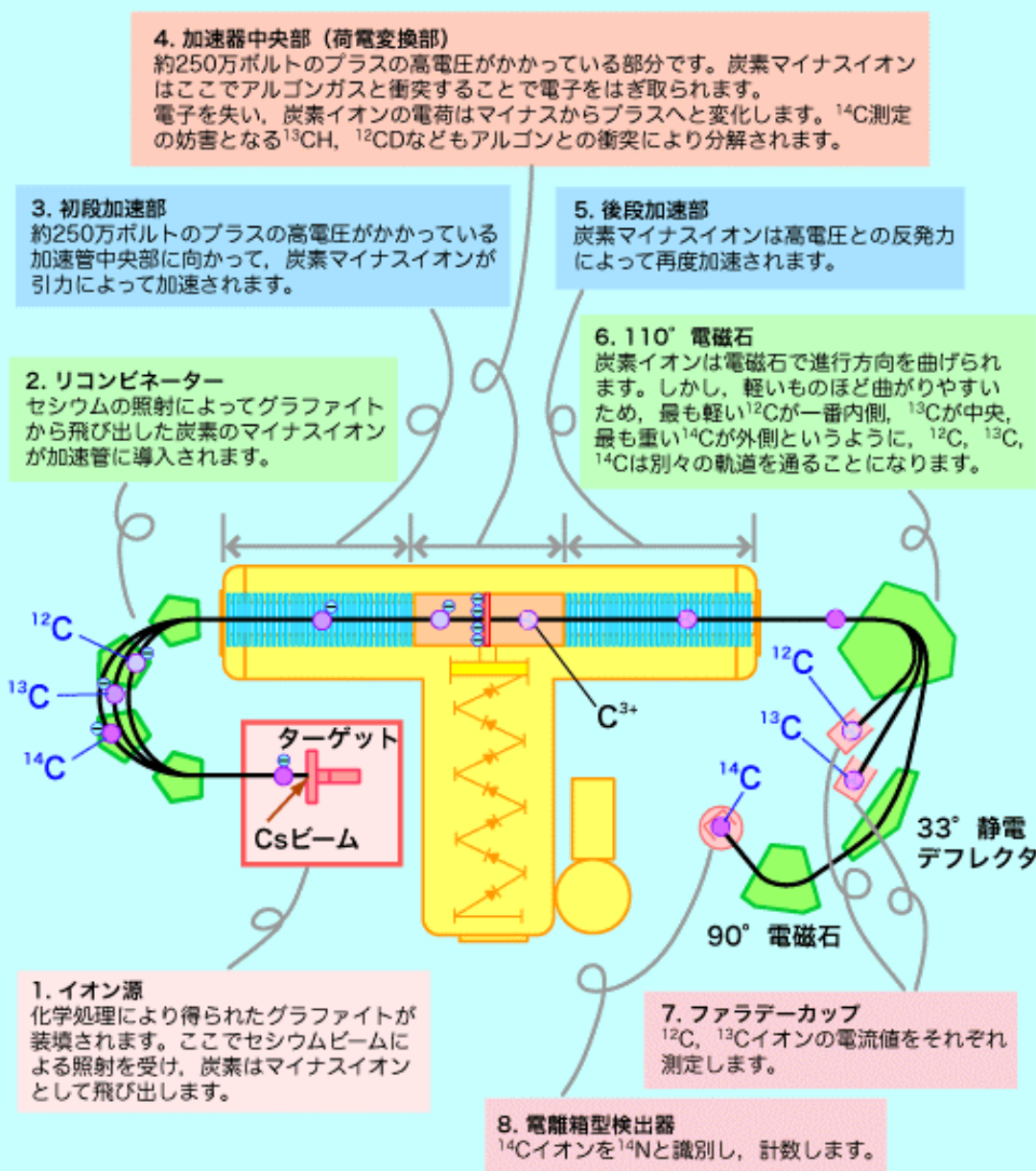
加速器質量 分析計 (AMS)

年代測定総合研究センター

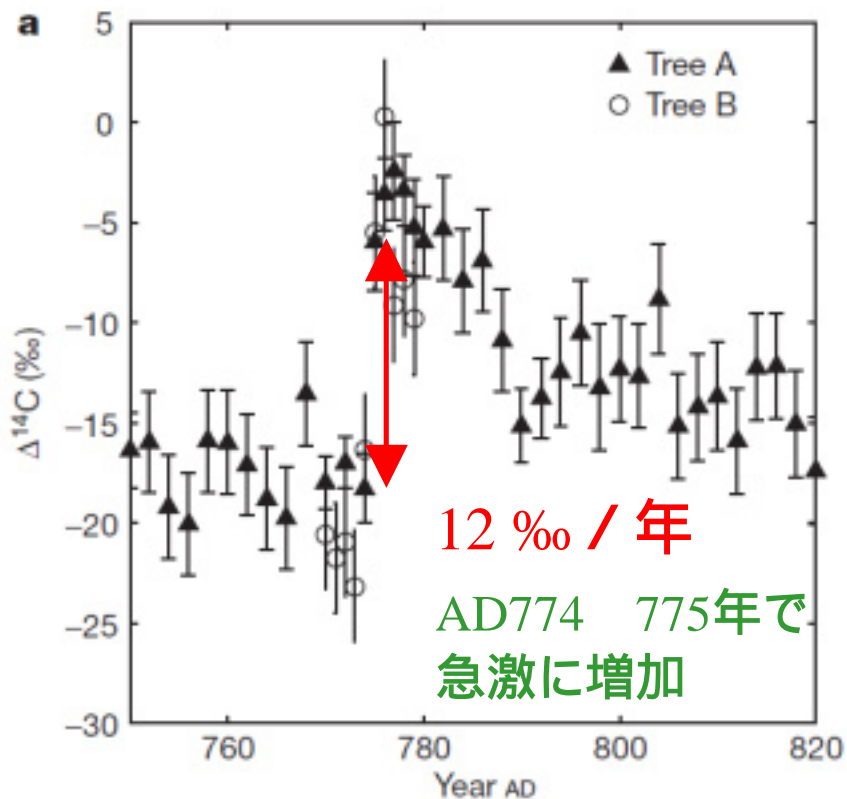
$^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ を標準試料と比較して ^{14}C (‰)として表示
[単一測定の誤差 ~ 2.6‰]



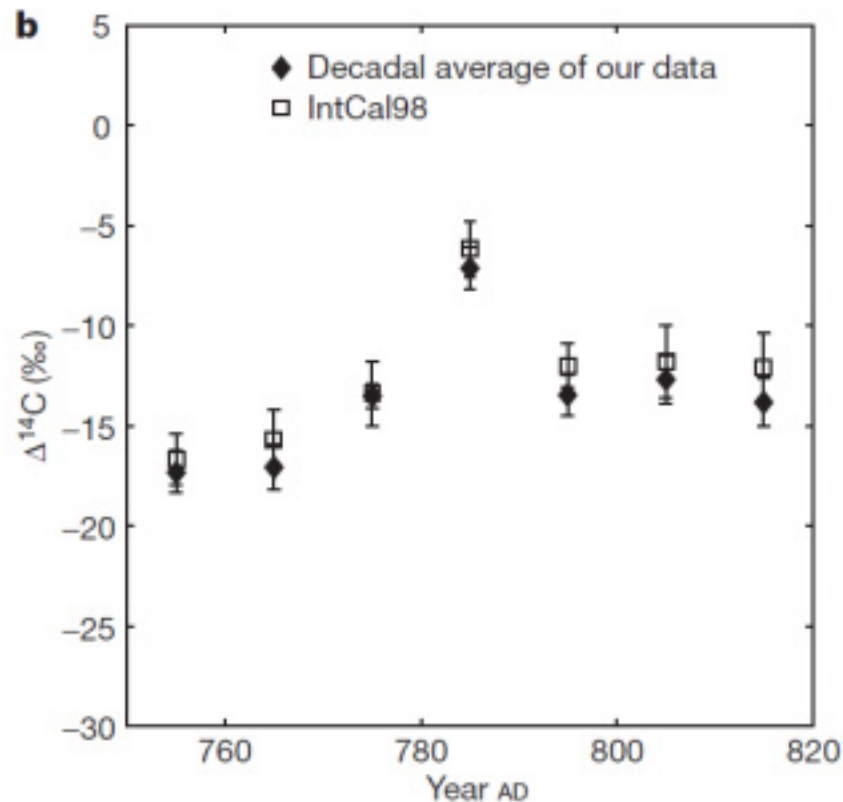
TANDETRON 2



測定結果： ^{14}C 増加(1年値, 10年値)



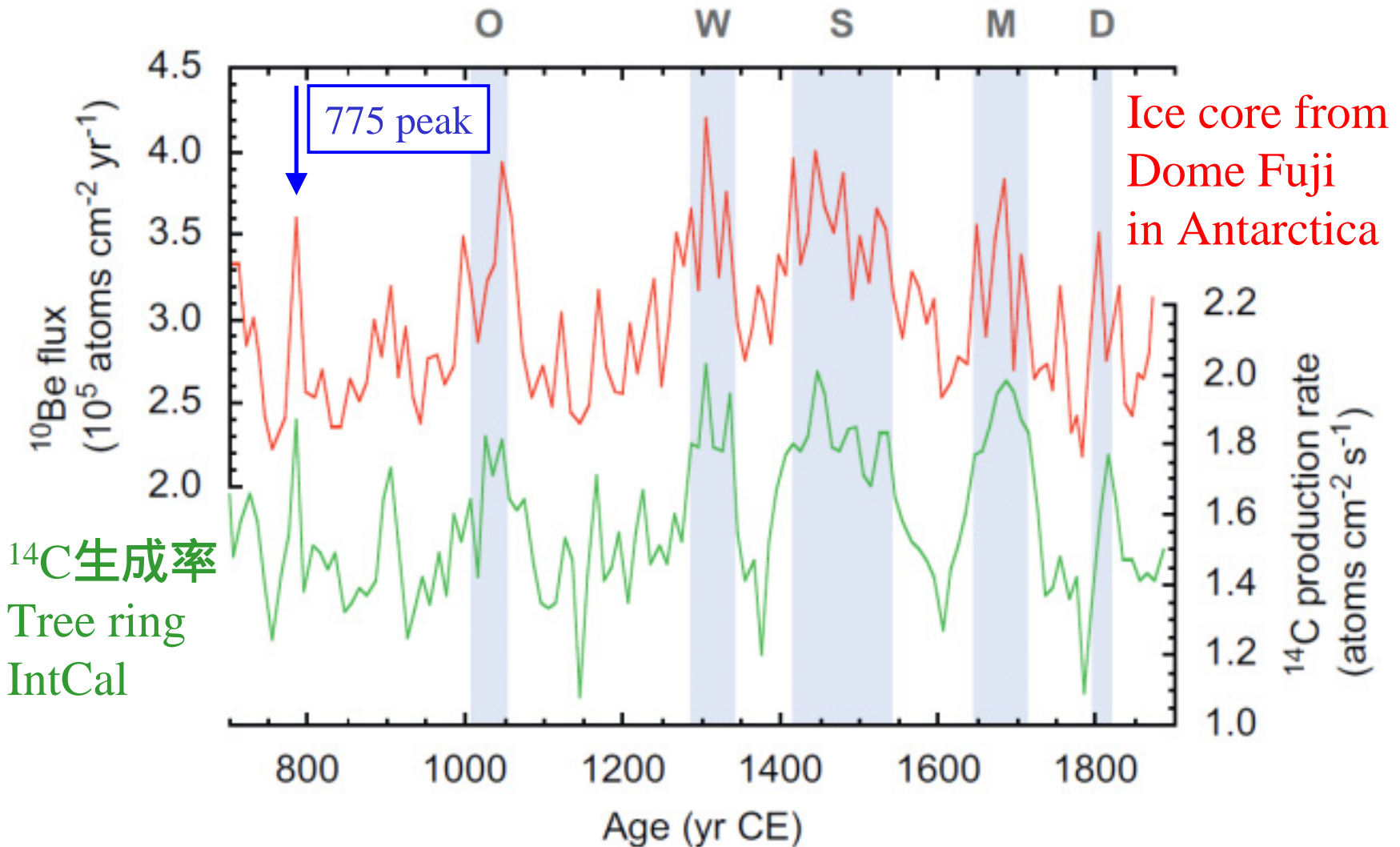
a) ^{14}C 濃度の変化
(1-2年値)



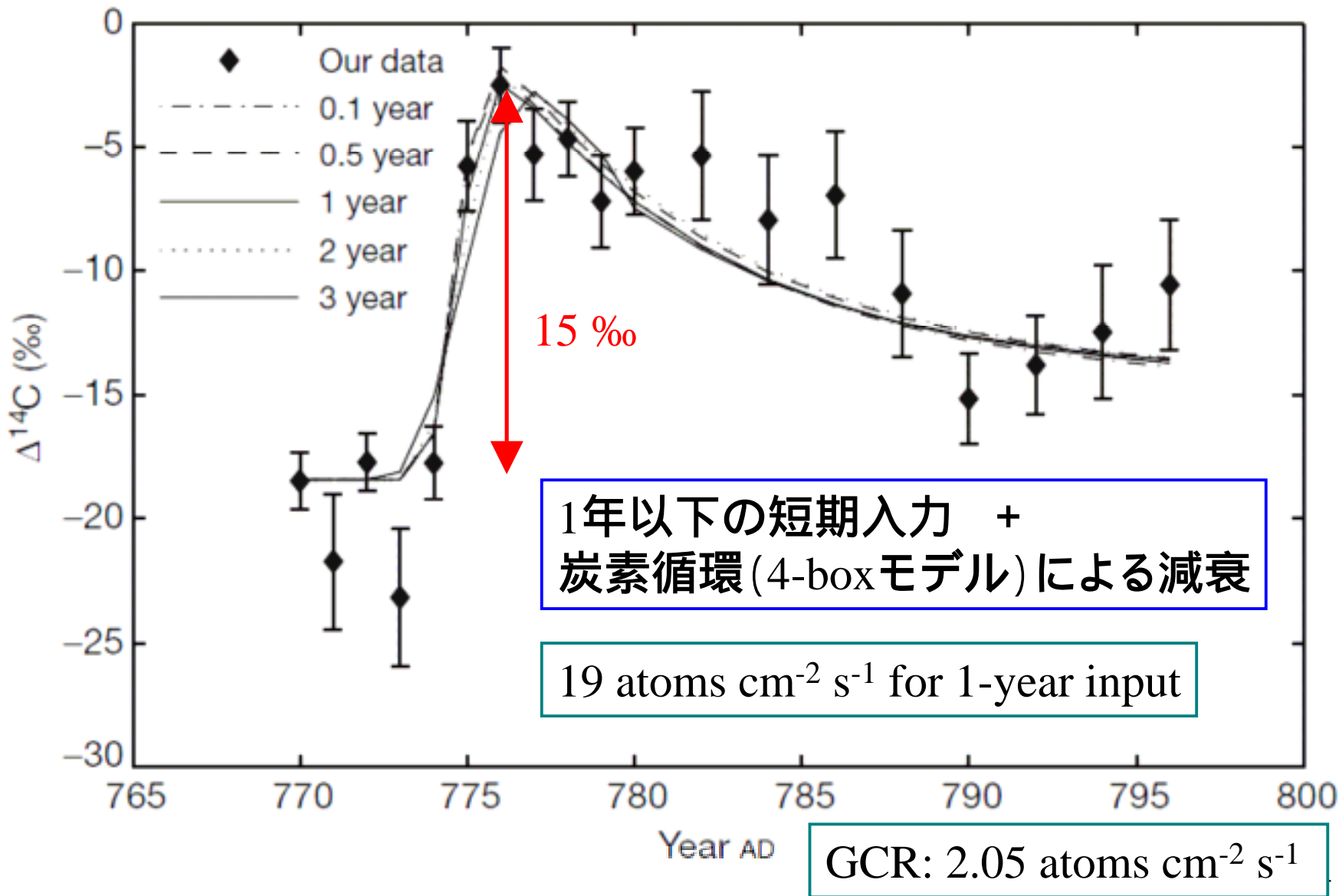
b) ^{14}C 濃度の変化(10年平均)
とIntCalの比較

Decadal ^{10}Be record

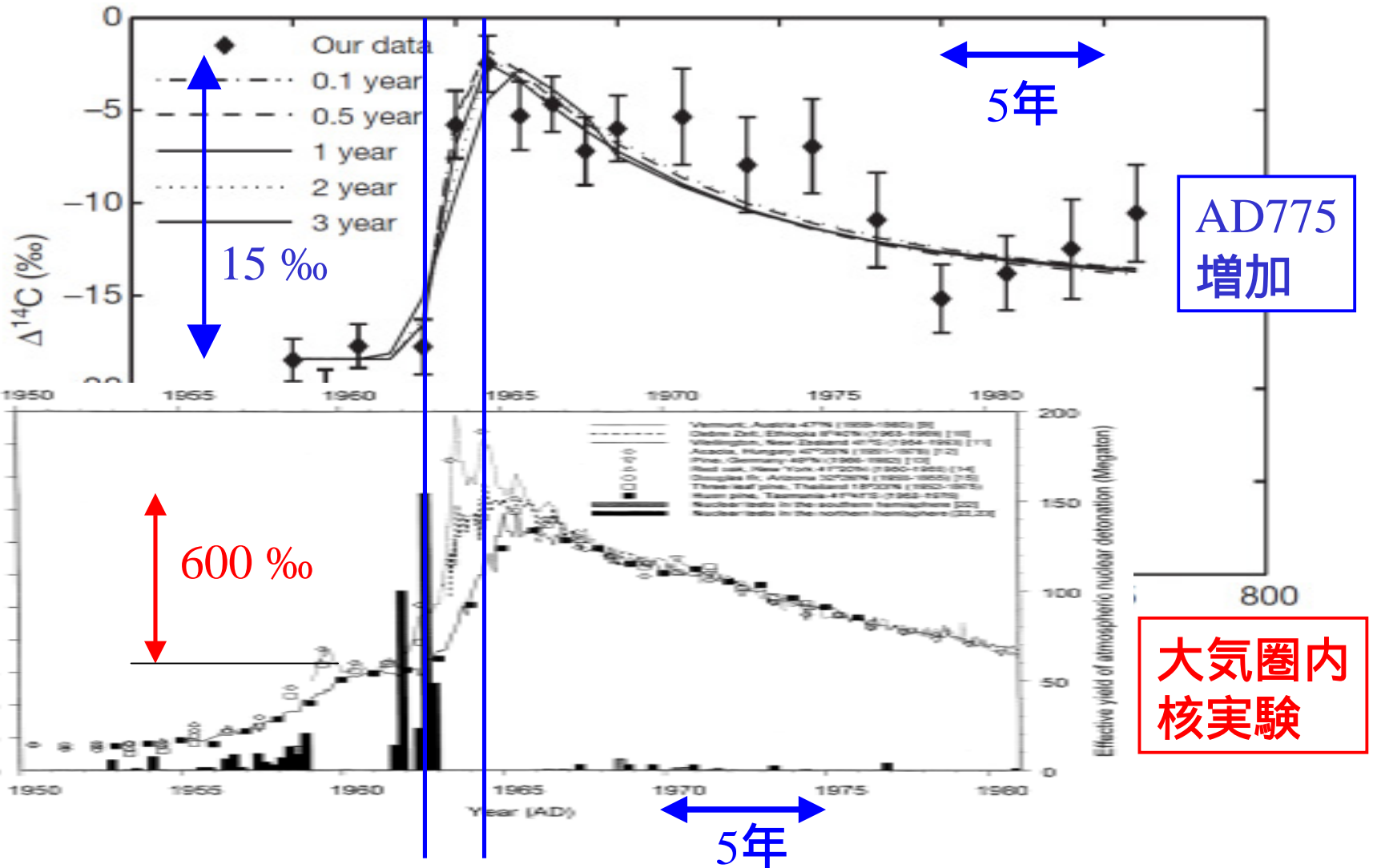
Horiuchi, 2008



宇宙線の入力期間に対する¹⁴C量の応答



Bomb effect との比較



8世紀における ^{14}C 増加の特徴

- 屋久杉中の ^{14}C 濃度が1年で12‰増加し,その後ゆっくり減衰
- 通常の太陽活動による変動率の20倍の変化
- 10年平均はIntCal(欧米試料)の10年値と一致
- 南極アイスコア中の ^{10}Be の10年値の増加と一致
- モデル解析より, ^{14}C が $19 \text{ atoms cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の割合で1年間生成され,炭素循環により減衰

1年以下の短期間に,高エネルギー現象による全地球的な宇宙線の増加が起こった

原因: 超新星爆発(ガンマ線放出), 太陽スーパーフレア(高エネルギー陽子放出), など

- ガンマ線(または陽子)が地球大気に入射したときにどのくらいの ^{14}C を作るかをシミュレーション計算した。

超新星爆発仮説

- シミュレーションから, ガンマ線による ^{14}C 生成 $120 \text{ }^{14}\text{C atoms/erg}$
- 15 ‰の ^{14}C 増加から, 地球へ到達したガンマ線 $7 \times 10^{24} \text{ erg}$
超新星からの放出ガンマ線 $3 \times 10^{51} \text{ erg}$ (距離 2kpc)
- 普通の超新星爆発から放出されるエネルギー 10^{51} erg
その1%がガンマ線と仮定すると 10^{49} erg
- 今回の事象は100倍大きい, 距離が1/10なら, ガンマ線のエネルギーは $3 \times 10^{49} \text{ erg}$ となり, 普通の超新星と同じ程度
- 775年に超新星らしき歴史記録はない
- CasA (電波), Vela Jr. (^{44}Ti ガンマ線) も歴史記録なし
 - Vela Jr.: $d \sim$ 数100 pc, $\text{age} = 10^3 \sim 10^4 \text{ year}$ (SN775の可能性?)
 - 近くて若い超新星は記録に残るはず?

太陽高エネルギー陽子仮説

- シミュレーションから, 陽子による¹⁴C生成 10^{14} C atoms/erg
- 15 ‰の¹⁴C増加から, 地球へ到達した陽子 8×10^{25} erg
太陽から放出されるエネルギー 2×10^{35} erg
- 通常フレアから放出されるエネルギー $10^{29} - 10^{32}$ erg
 - 1000倍大きいフレアか (スーパーフレア)
 - このような大きなフレアが起こる可能性は?
 - 我々の太陽では起こらないという説もある
- 人間や環境(オゾンなど)への影響の見積もり
- 紫外線の影響
- 地球の環境変化に関する調査

まとめ

- 西暦774年から775年にかけて、大気中の ^{14}C 濃度が急激に増加したことを発見
- 増加率は通常の太陽活動による変動率より20倍も大きく、過去3,000年間で最大級の宇宙線量の急激な増加
- 原因として地球外の高エネルギー現象、例えば、
 - (1)近傍の超新星爆発による 線の大量放出
 - (2)太陽スーパーフレアによる高エネルギー陽子の放出が考えられるが、現在までの考察では可能性は高くはない
- ^{10}Be , ナイトレート等の1年値、歴史記録の調査が必要
- 今回のように過去の大きな宇宙環境の変動を高時間分解能(1 - 2年)で詳細に調べ、地球環境との関連を解析することは、これからの地球環境変動を予測する上で非常に重要である。

END