

Be-7、Na-22などによる宇宙線強度時間変化

(H120年度研究費：350千円、旅費：200千円)

年輪中の放射性炭素測定と 微量放射性同位元素分析

(H20年度研究費：250千円、旅費：200千円)

山形大学理学部

櫻井敬久、菊池聡、佐藤太一、乾恵美子、鈴木佳代
門叶冬樹、郡司修一、門叶冬樹、
門倉昭(極地研)、佐藤夏雄(極地研)

研究目的

過去の宇宙線強度変動と太陽活動の探索

宇宙線生成核種の利用 (C-14, Be-7)

大気気象情報

宇宙線スペクトル
と太陽活動

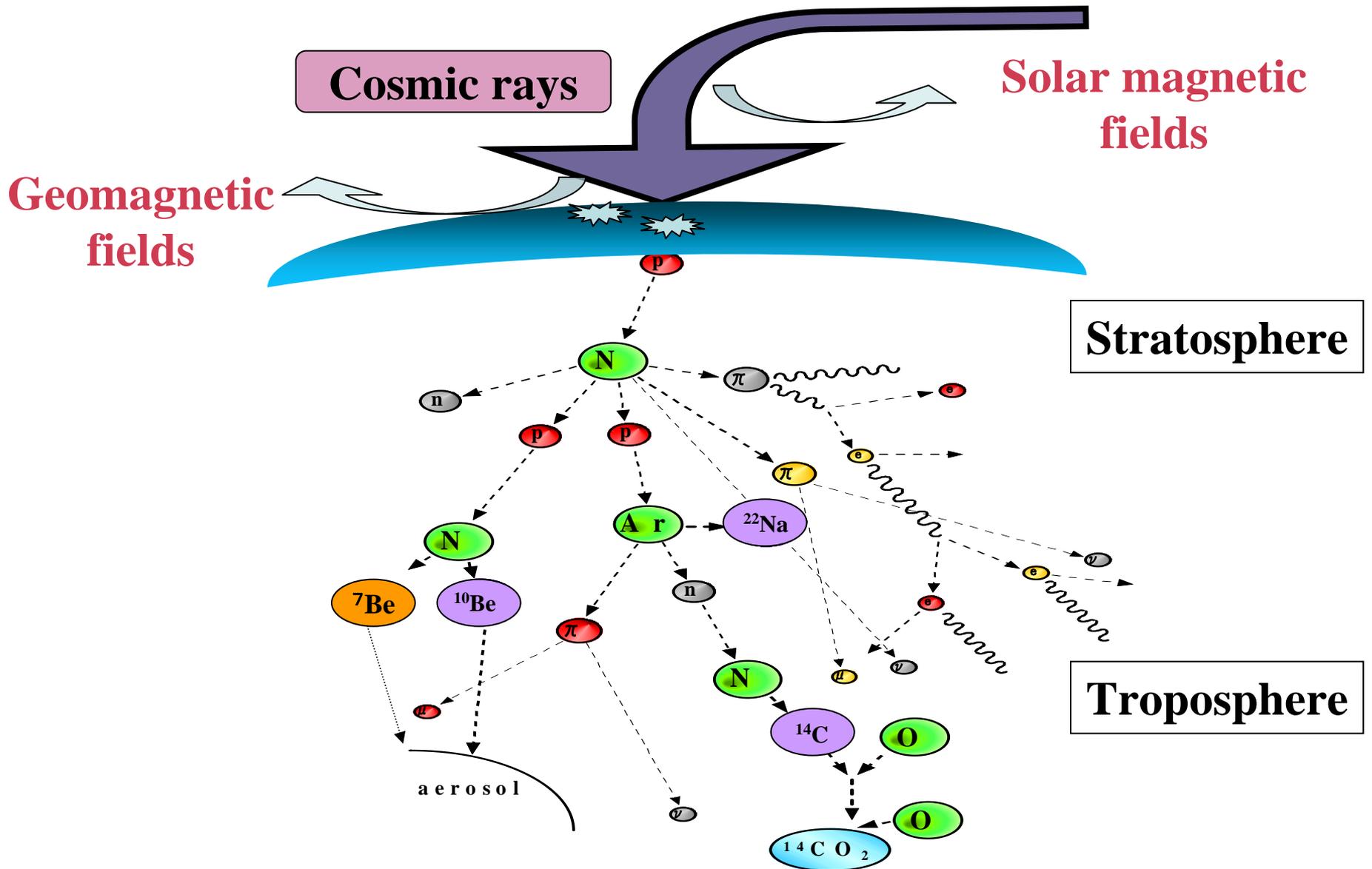
現代の宇宙線生成核種の高時間分解能測定
による時間変動の統一的理解

Air-mass motion

Climate

Aerosol

Cosmogenic nuclide

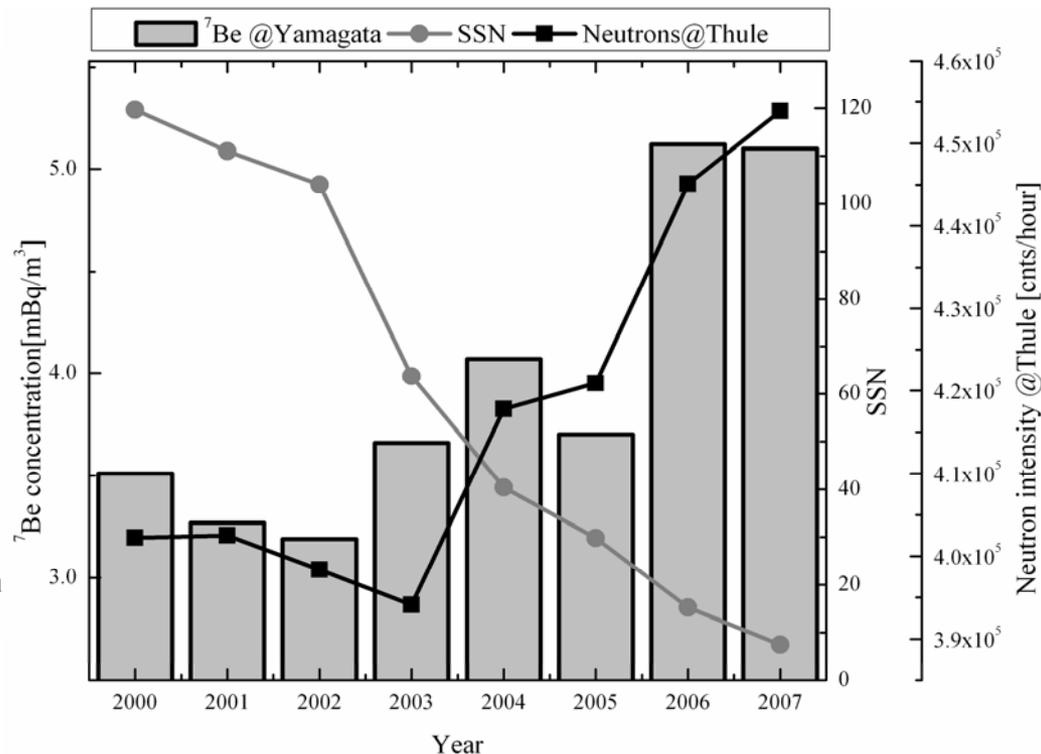
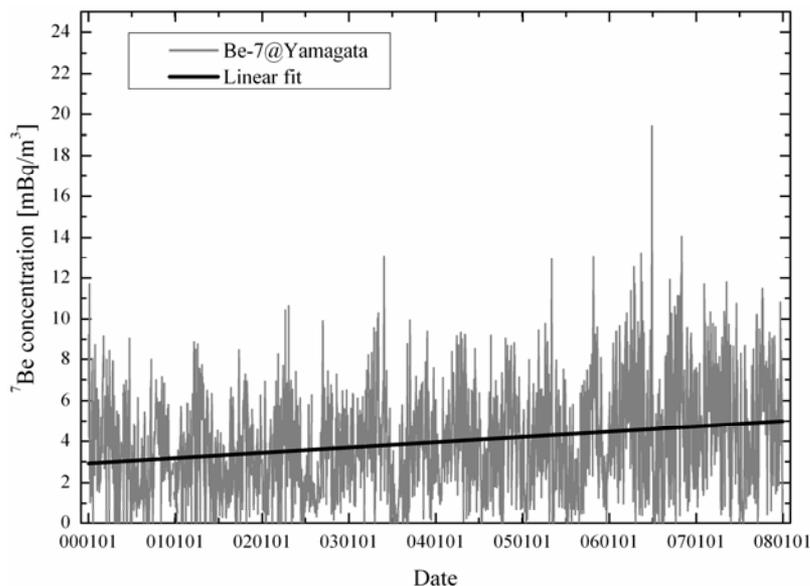


トピック

- Be-7濃度変動(2000---2008)
年変動と太陽活動、Be-7の源
季節変動
日変動
- Na-22の測定
- 古木年輪中の安定同位体と放射性同位体
 δ O-18, K-40

日変動・年変動 ~solar cycle 23の極大期(2000年)から極小期(2007年)にかけて~

neutronデータ: WDCCR
SSNデータ: SIDC



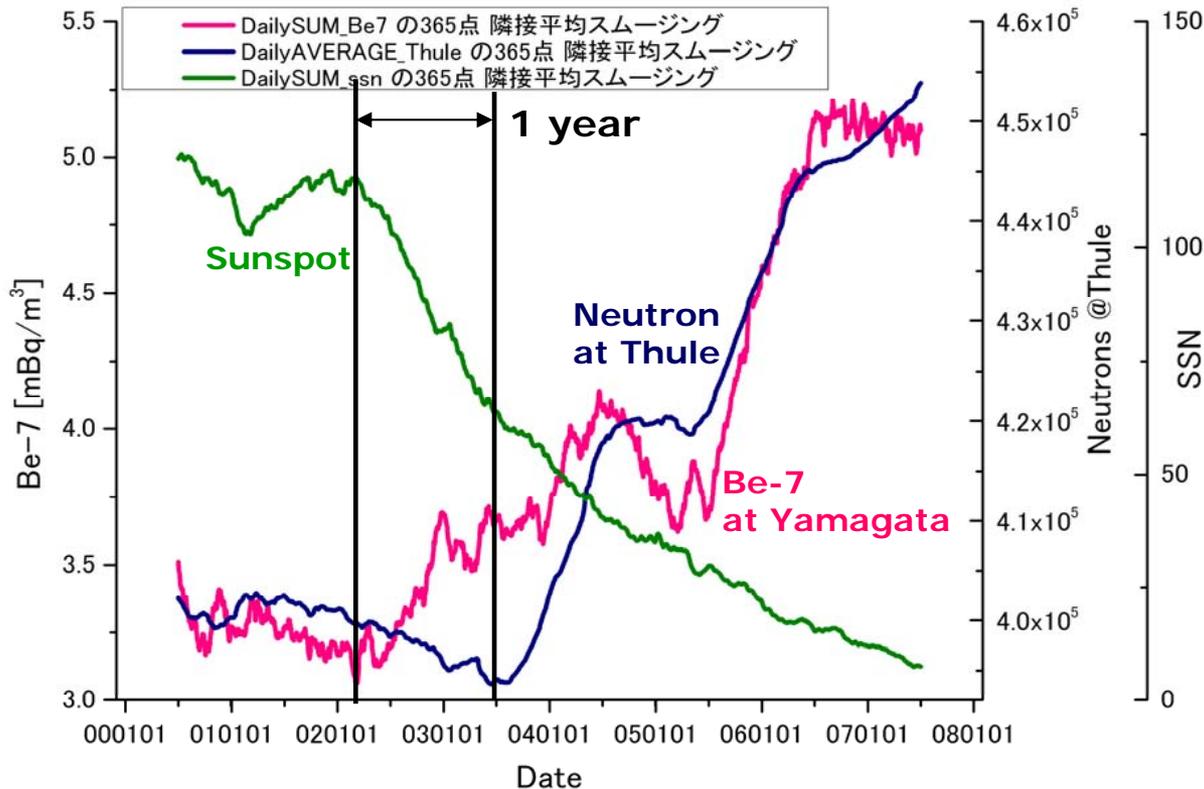
8年分の日変動データ

特徴: 激しい変動、春・秋の2ピーク、太陽活動の減衰に伴う増加(41.6%)

8年間の平均濃度: **3.97 mBq/m³**

変動率(2007値-2002値)/2007値
Be-7@Yamagata: **37.4 %**
neutron: 12.2 %

Timing properties of Be-7 concentrations and neutrons



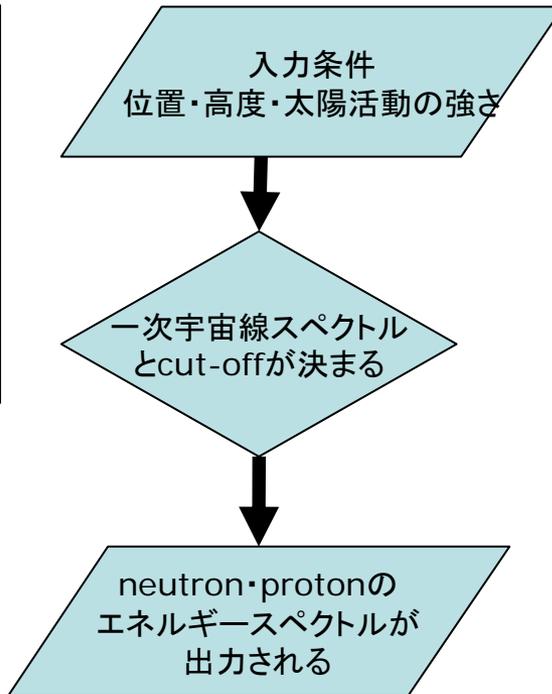
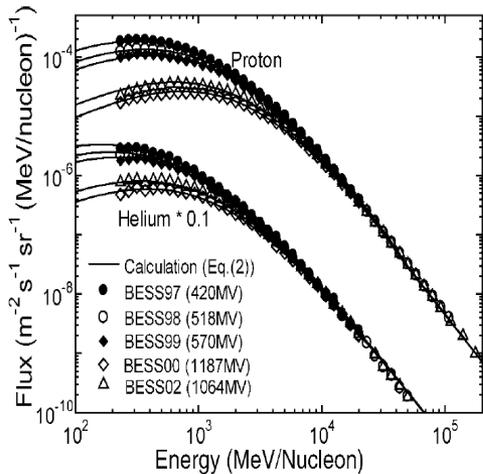
The seasonal variation of Be-7 concentrations is strong. We filtered out the seasonal variation from all data sets using the 365-day moving average to compare both timing properties.

The minimum of neutrons was approximately 1 year delay from the solar maximum.

The profile of the Be-7 concentrations is similar to that of the neutrons, and the correlation coefficient between them is 0.94 (for 365-day moving average data sets). This indicates that Be-7s are produced by GCRs.

生成シミュレーション: EXPACS

山形上空のBe-7のproductionにより、37.4 %を説明できるか



Japanese ▼

EXPACS ver. 2.13

Excel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum. Copyright© 2006, 日本原子力研究開発機構
 開発者: 佐藤 達彦, 放射線防護研究グループ, 日本原子力研究開発機構, E-mail: nsed-expacs@jaea.go.jp
 参考文献: T.Sato and K.Niita, "Analytical Functions to Predict Cosmic-Ray Neutron Spectra in the Atmosphere", Radiat. Res. 166, 544-555 (2006).
 URL: <http://www.jaea.go.jp/04/nsed/ers/radiation/rpro/EXPACS/expacs.html>

白色のセルに条件を入力して下さい

高度または大気深度	100 (g/cm ²)
場所または	38.25 緯度(北緯)
地磁気強度	140.35 経度(東経)
Force Field	1200 (MV)
Potential, 年月日もし	12 入力不要
くは中性子モニタ計数	31 入力不要
周辺環境	理想大気中
周辺環境パラメータ	0.2 入力不要
放射線荷重係数	新結合
出力フラックス単位	(/cm ² /s/(MeV/n))
出力線量単位	(uSv/h)

入力条件確認

大気深度	100.0 (g/cm ²)
地磁気強度	10.1 (GV)
太陽磁場強度	1200.0 (MV)
周辺環境パラメータ	0.2 入力不要
計算結果	被ばく線量率 (uSv/h)
合計線量	3.25E+00 3.11E+00
中性子	9.67E-01 1.43E+00
陽子	6.05E-01 4.79E-01
ヘリウム原子核	5.69E-01 2.06E-02
μ+粒子	8.89E-02 7.59E-02
μ-粒子	6.27E-02 6.93E-02

PARMAモデルで計算した大気中宇宙線スペクトル

PARMAモデルで計算した大気中宇宙線スペクトル
各粒子のフラックス (/cm²/s/(MeV/n))

中性子	1.13E-08
陽子	98035.05
ヘリウム原子核	
μ+粒子	
μ-粒子	
電子	
陽電子	
光子	

シミュレーション～生成率の算出～

任意の高度におけるneutron・protonのエネルギースペクトルに、Be-7の生成断面積をかけて、高度別の生成率を求め、成層圏・対流圏の生成率を求める。

$$P(h) = \int_{E1}^{E2} F(E, h) \times N \times \sigma(E) dE \quad (E1 = 10 \text{ MeV}, E2 \approx 100 \text{ GeV}),$$

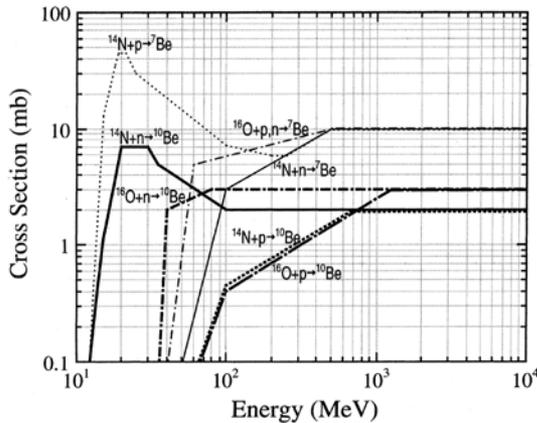
P(h): 高度hでのBe-7生成率

F(E, h): 高度hにおけるneutron・protonのエネルギースペクトル

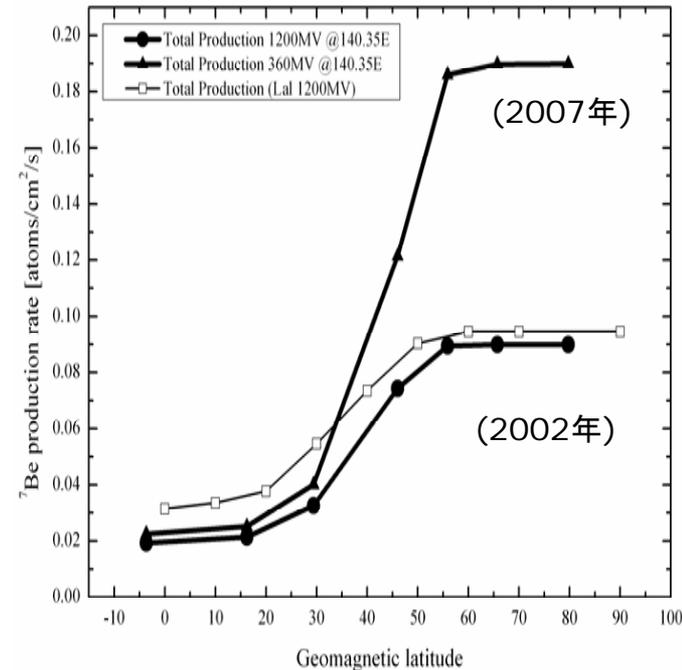
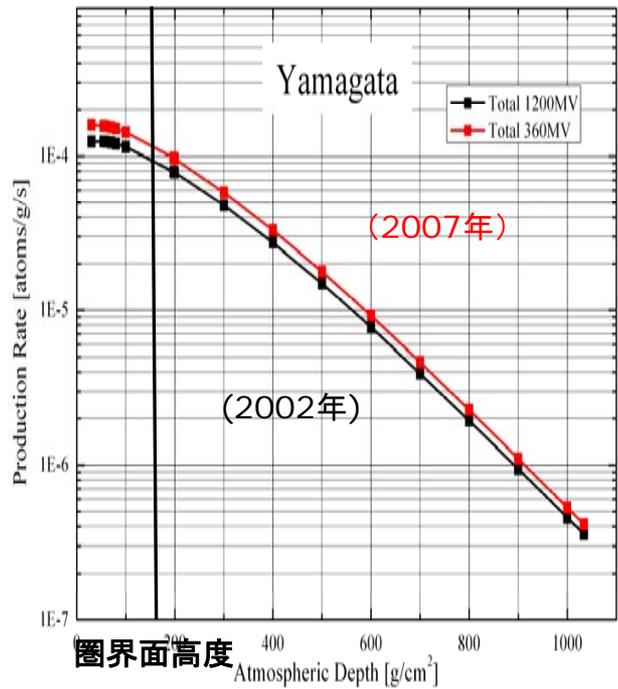
N: 空気1gあたりの窒素・酸素の数密度

$\sigma(E)$: Be-7生成断面積

Be-7の生成断面積

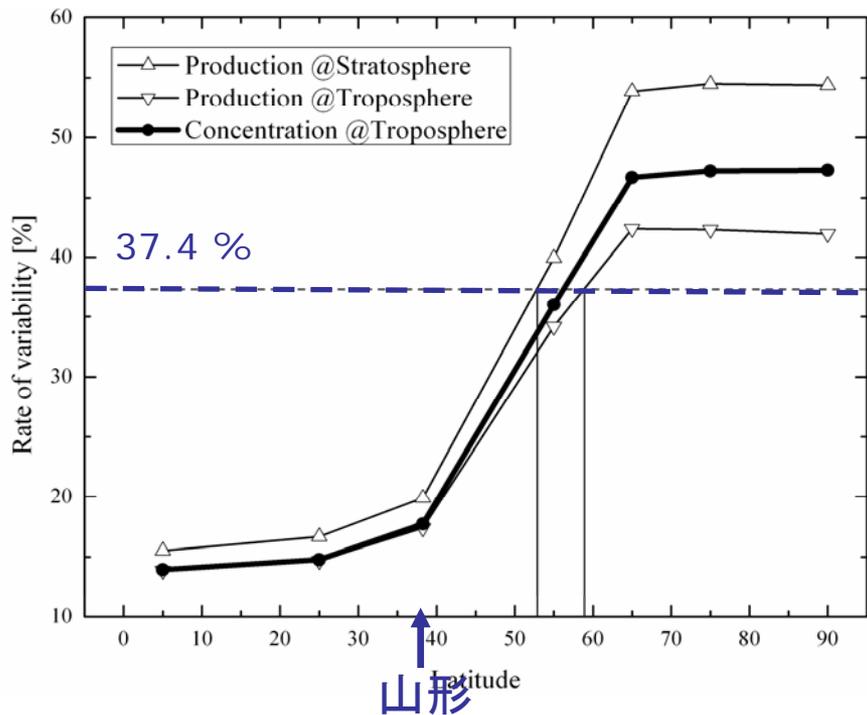


Nagai et al., NIM B, 2000



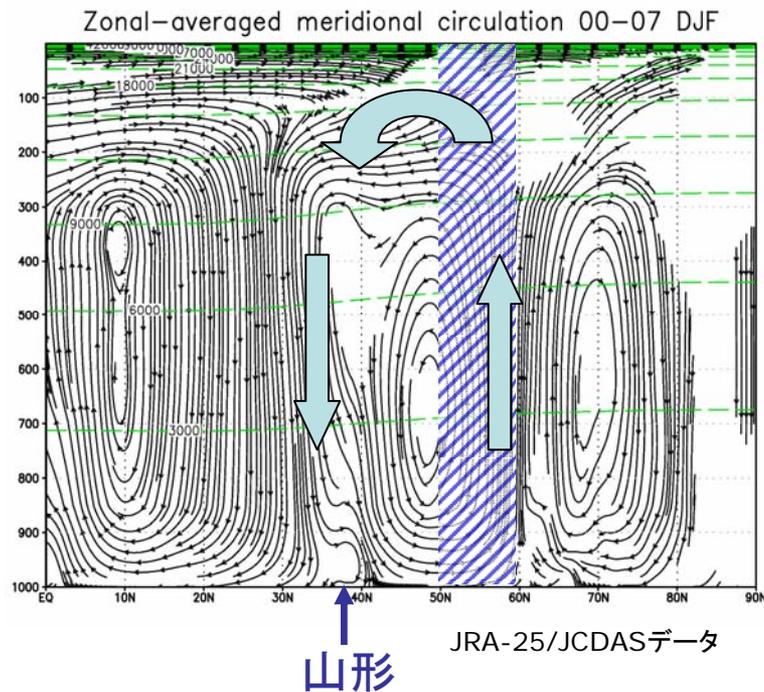
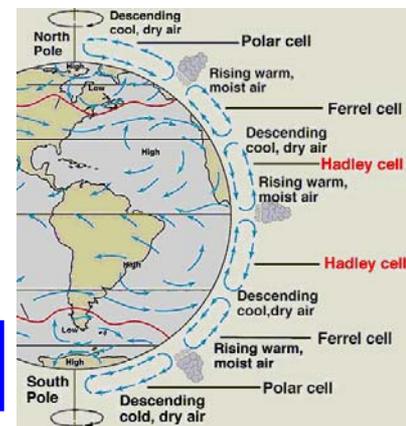
Be-7の生成地点を見積もる

Be-7@山形: 37.4%



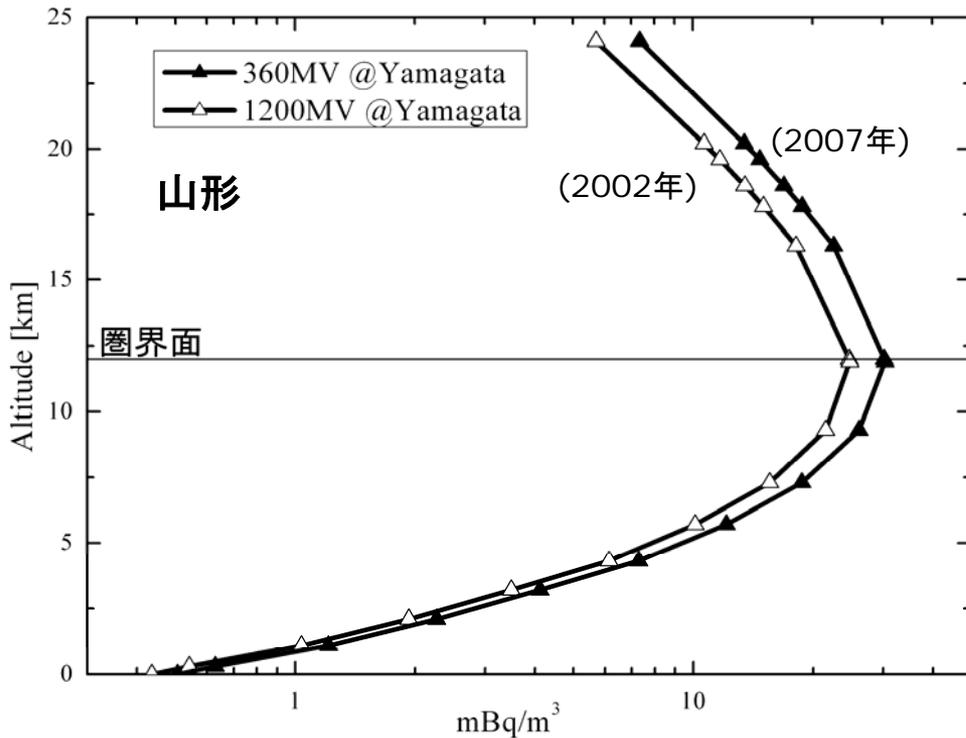
山形上空だけでは、観測されるBe-7が全て成層圏成分のみと仮定しても20%しか変動しない。高緯度からの流入が必要。37.4%変動を満たす領域は北緯50°~60°(オーロラ帯またはその外周)

大気大循環



フェレル循環によって、高緯度上空のBe-7が山形の地表に輸送されていると考えられる。

濃度の高度分布とジェット気流



山形では圏界面付近で濃度が最大となる。
地上の約60倍

算出方法:

各高度ごとに次のようなBOXを考える。

$dN(h)/dt = P(h) - \lambda N(h)$ (各BOX間の移動は無し)

$dN/dt = 0$ とすると、 $P(h) = \lambda N(h)$

但し、 $P(h)$ はその高度での空気密度をかけて、

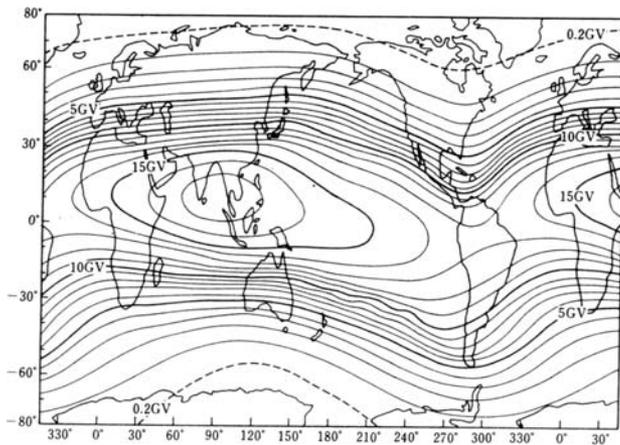
$P(h) \times \rho(h)$ を使い、 Bq/m^3 単位で表示した。

山形におけるジェット気流の中心高度は、
圏界面高度と同じで、約12km上空。

ジェット気流によって拡散している
とも考えられるので、経度方向につ
いても考える必要がある。

経度方向に平均したときの変動率

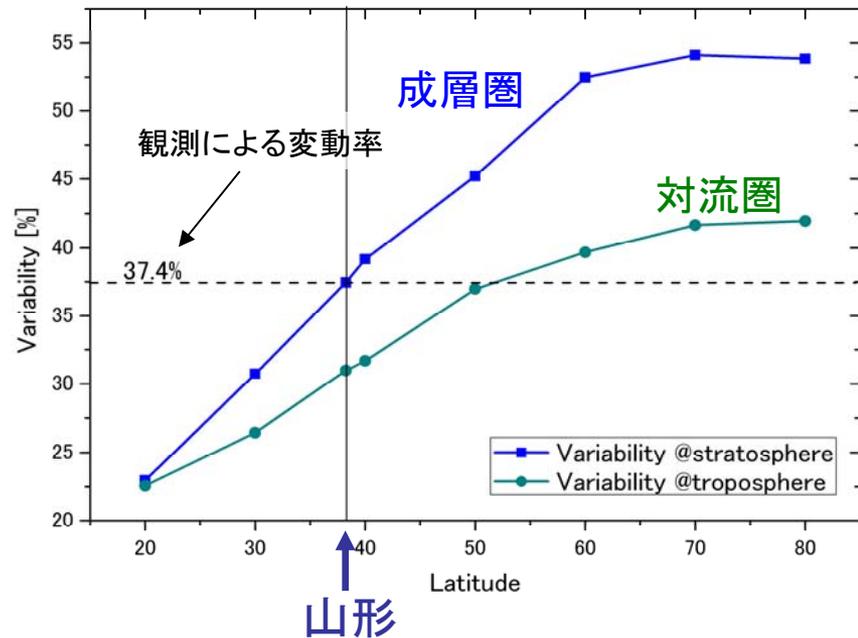
同緯度帯でのcut-offを見ると、日本付近が最も高く、アメリカ東海岸付近が最も低い。



cut-offが低いほど、成層圏・対流圏のBe-7生成率の変動率は大きくなる。上記のように、同緯度帯でもcut-offに差があり、変動率も異なる。

そのため、偏西風(特に、ジェット気流によって)上空のBe-7が同緯度で混ざった場合を考える必要がある。

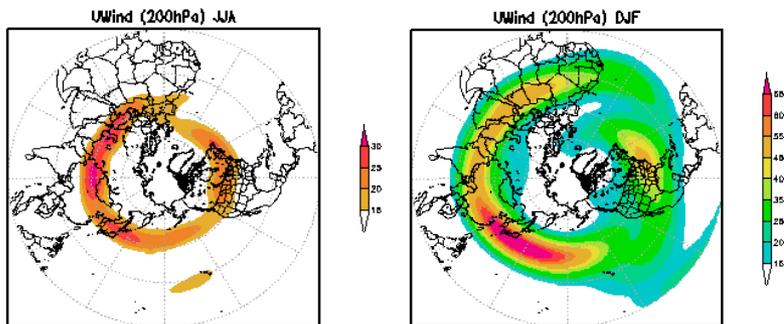
そこで、各緯度ごとに経度方向に平均した成層圏・対流圏のBe-7生成率を求め、2002年(極大期)、2007年(極小期)の変動率を求めた。



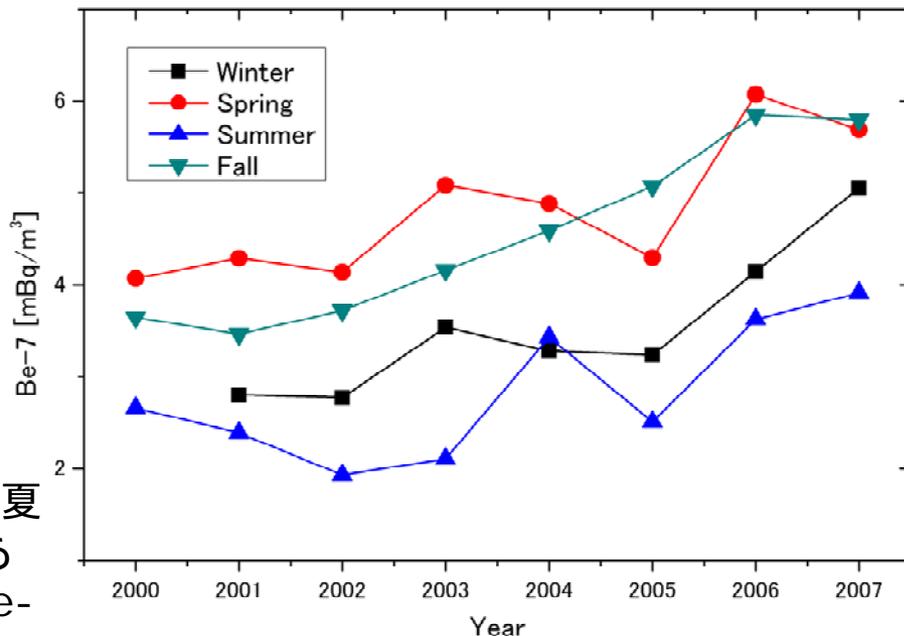
成層圏の変動率であれば、観測変動率(37.4%)に達する。しかし、ジェット気流の高度が圏界面付近に限定されていることから、同緯度帯の成層圏全体の変動率を山形で観測しているとは考えにくい。

Be-7濃度の季節ごとの年変動

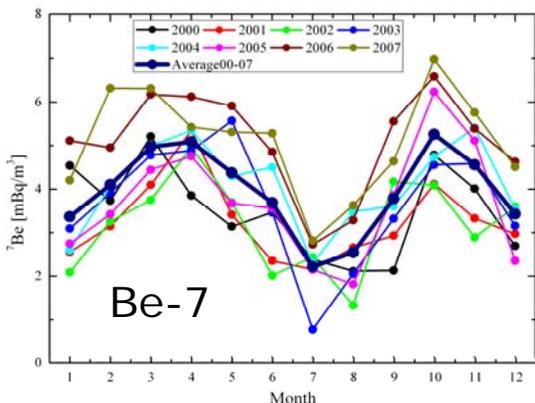
- ・ジェット気流の勢力は、冬に極大、夏に極小となる。
- ・Be-7濃度の年変動率は、冬と夏に大きい。



上空での西風(ジェット気流)の風速分布(夏、冬)



ジェット気流の勢力は夏と冬で大きな違いがあるにもかかわらず、Be-7濃度では共に高い変動をしている。ジェット気流だけで年変動を説明するのは難しい。



4月・10月にピーク
また、7月・12月に極小となる。

2山構造

	冬 (12,1,2月)	春 (3,4,5月)	夏 (6,7,8月)	秋 (9,10,11月)
変動率 (2002,2007基準)	45%	27%	51%	96%

冬と夏は、濃度としては低いが高年変動率は大きい。

3地点観測とシミュレーションの比較

	緯度	経度	標高	捕集開始
山形	38.25	140.3	153m	1993年
アメリカ・ユタ州	39	-113	1400m	2005年10月
アイスランド	64.67	-21.2	120m	2003年9月

混合層: 大気下層は地表面の凹凸と日射による対流でよくかき回されている。特に約1.2kmまでのよく混合された層を混合層と言う。

2006年に対してProductionシミュレーションにより、対流圏と混合層の濃度 [Bq/g_{air}] を求め観測値と比較した。

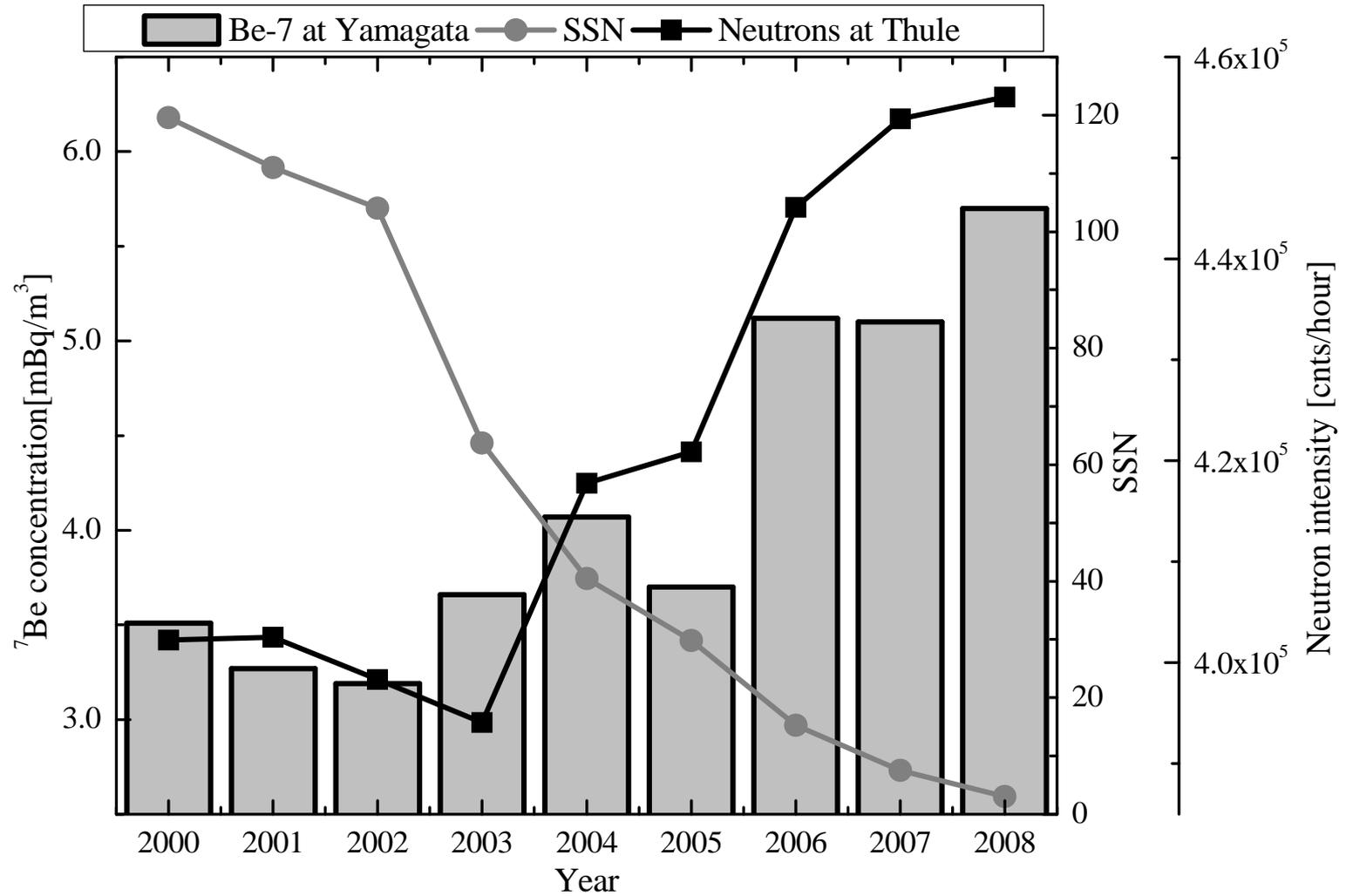
2006年の観測平均値に対して	2006年観測平均値 (mBq/m ³)	地表濃度 (観測値) / 対流圏濃度 (simulation)	混合層 (simulation) / 地表濃度 (観測値)
山形	5.1	64 %	17 %
アメリカ・ユタ州	8.5	44 %	15 %
アイスランド	2.2	11 %	65 %

山形: 観測値は混合層濃度だけでは説明できない。対流圏濃度に占める観測濃度は3地点で最も高く、大気がよく攪拌されている。

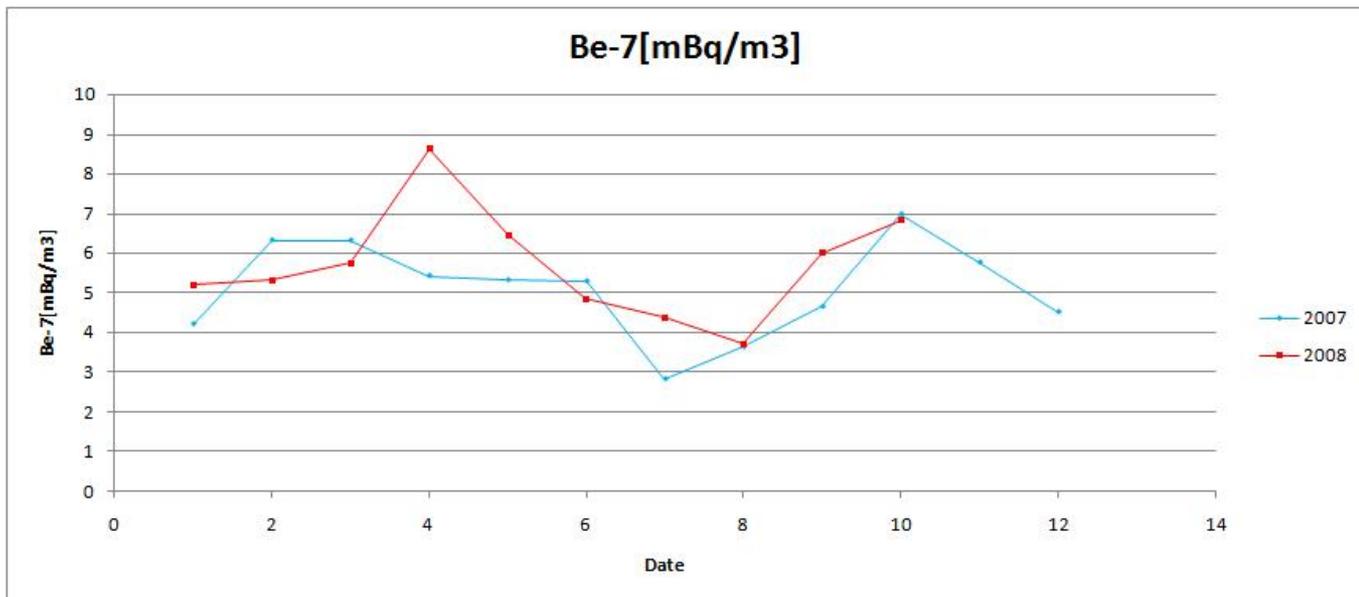
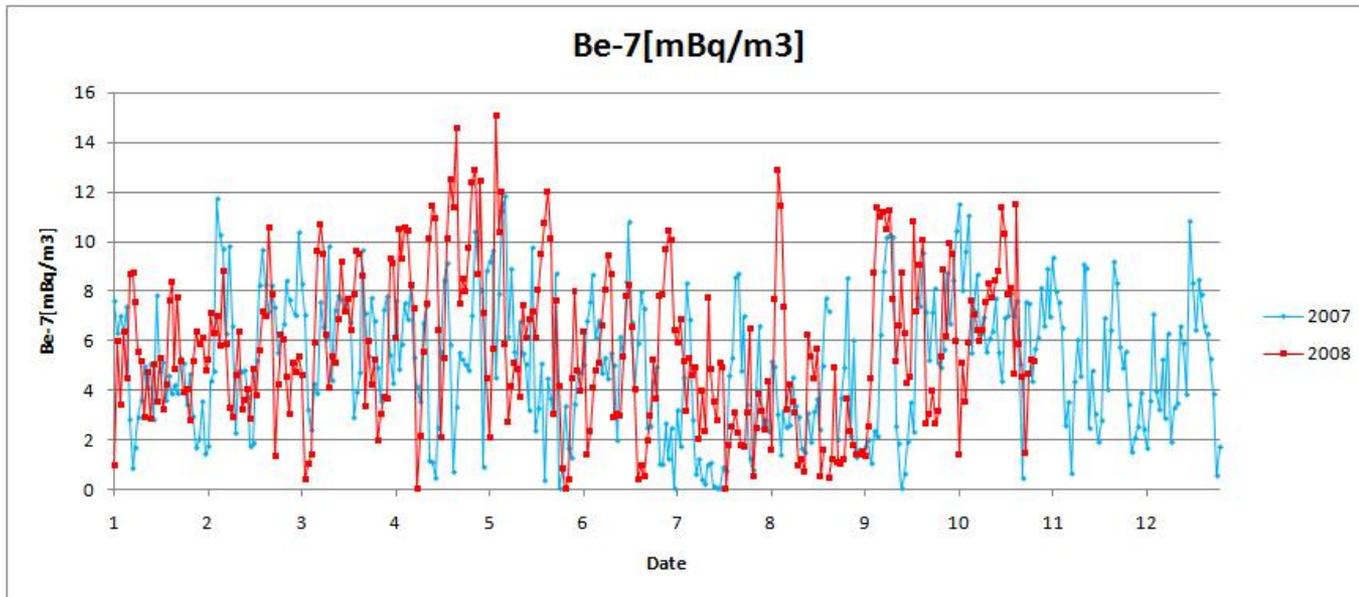
ユタ州: 山形と同様。但し、大気攪拌は山形ほど強くない。

アイスランド: 観測値を混合層濃度でほぼ説明できる。対流圏濃度に占める観測濃度は3地点で最も低く、残りの成分は大気輸送(特に大気大循環)によって輸送されている。

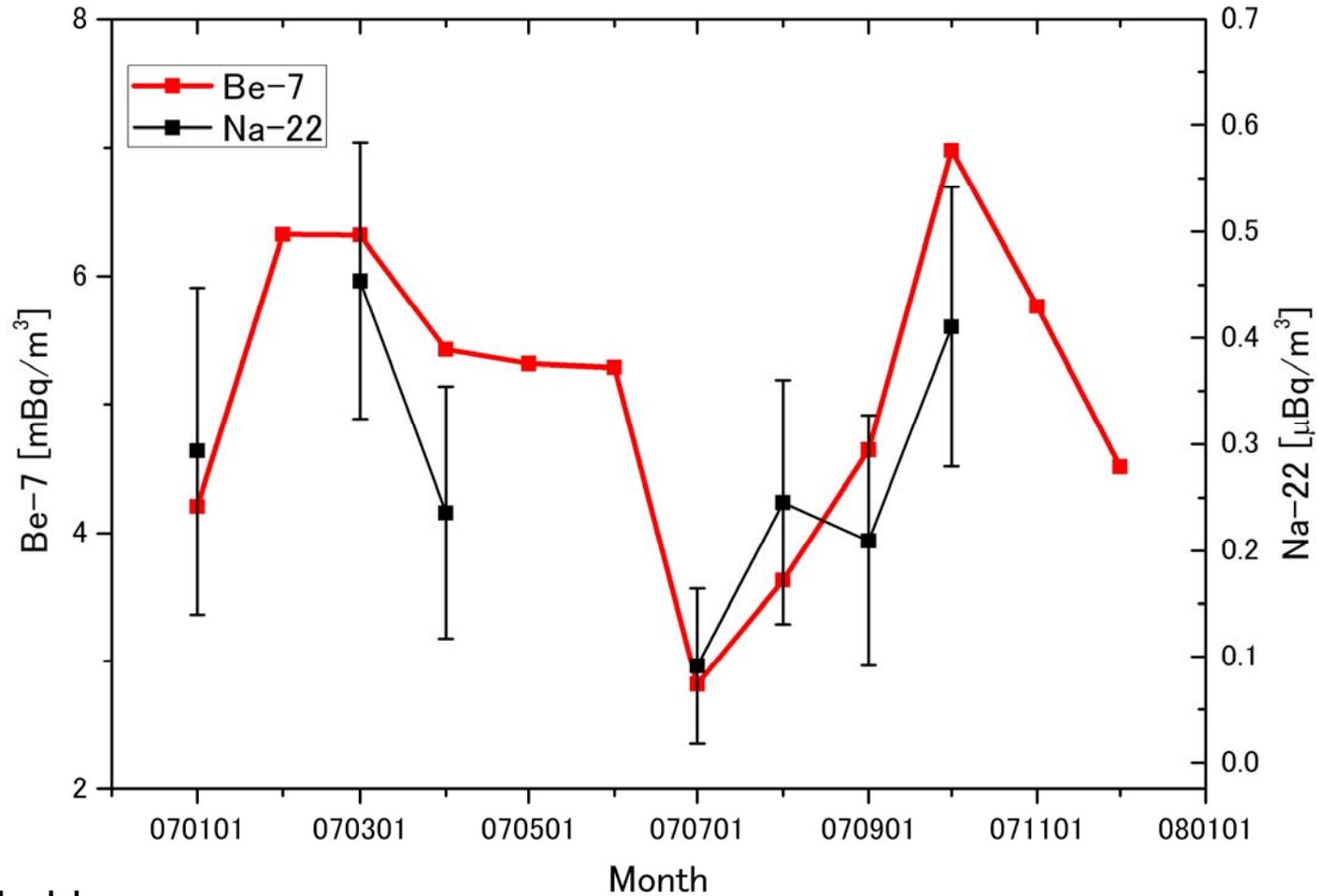
2008年は？



Be-7 2007 & 2008



2007年のNa-22とBe-7の比較

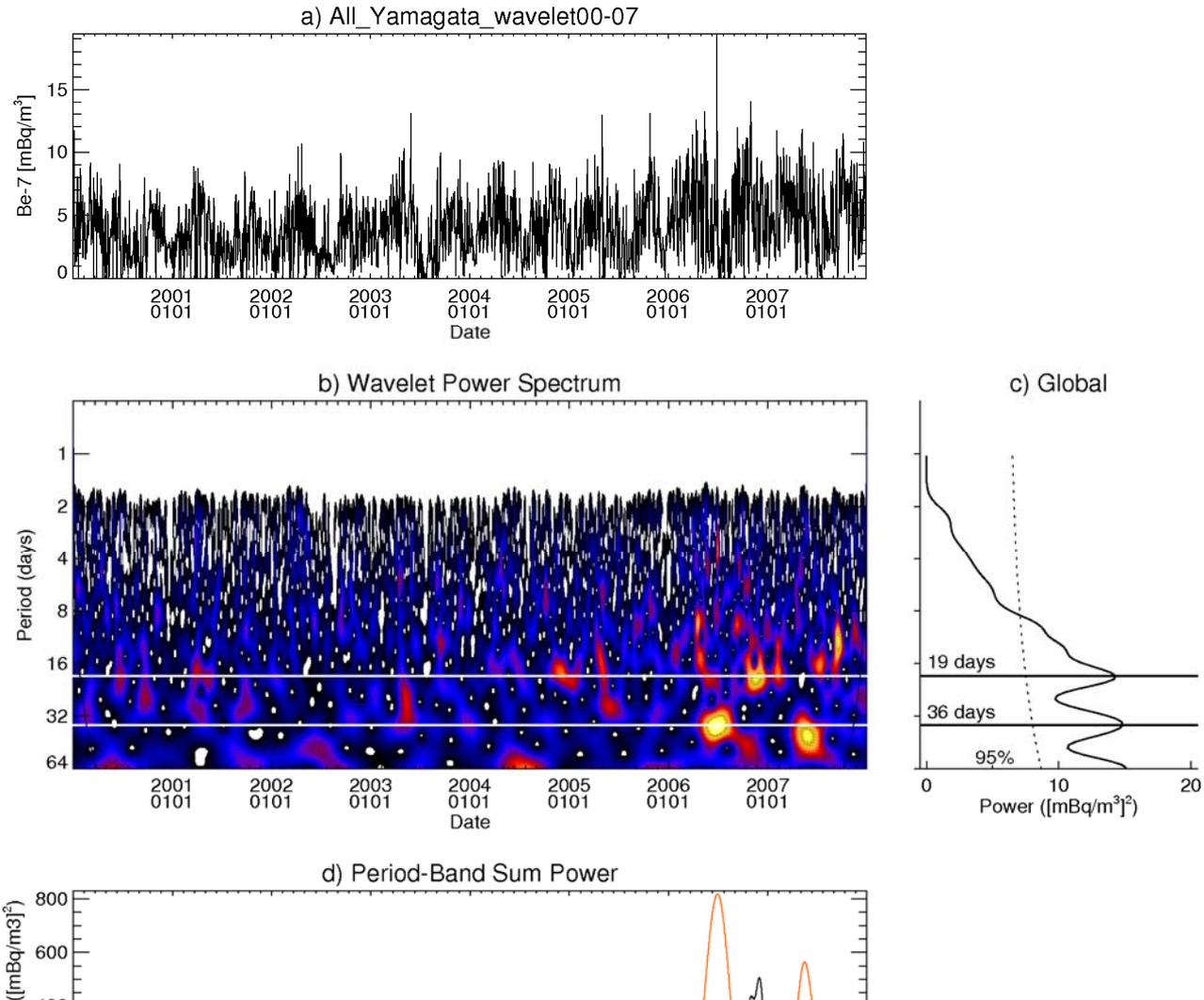


Threshold energy

Be-7: 20 MeV (53 days)

Na-22: 300 MeV (2.6 yrs)

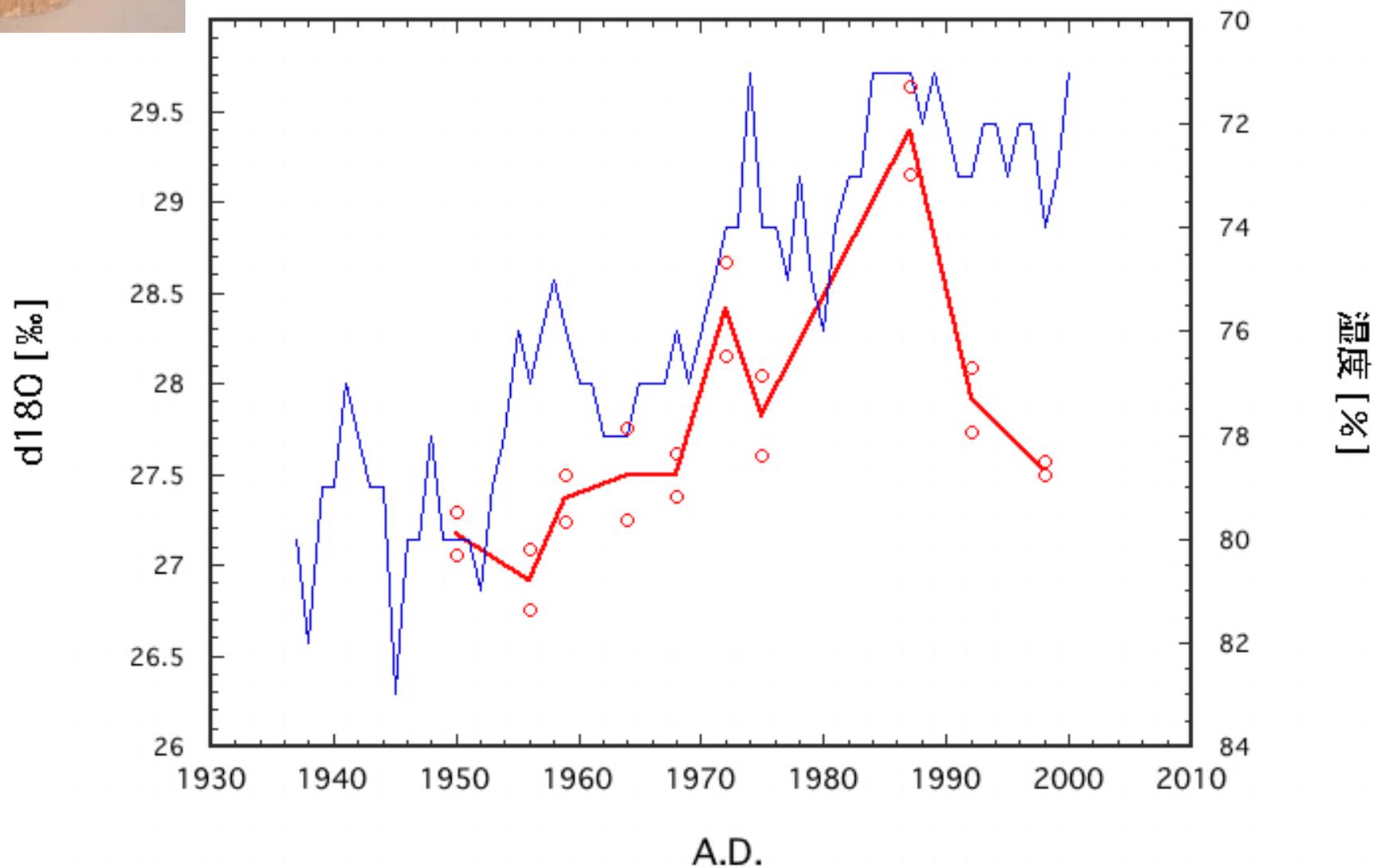
Periodic Components of Be-7 daily variation



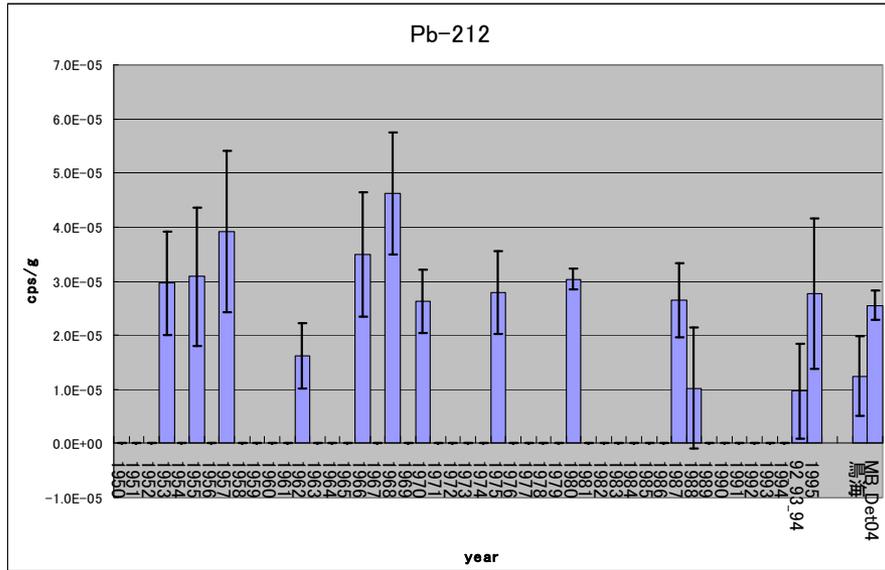


○ 金峰d180
— 金峰d180平均

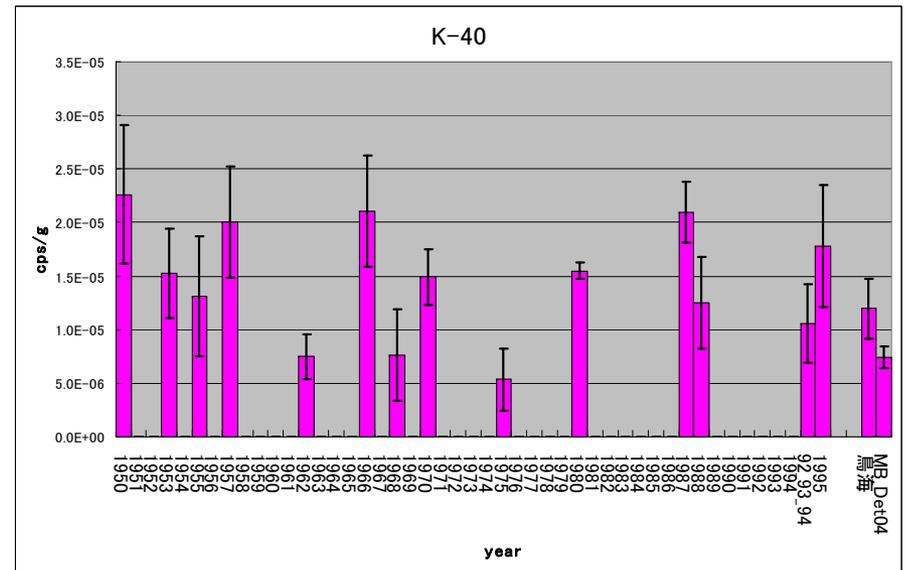
— 酒田(湿度%)



年輪中の放射性同位体



金峰杉



- 30th International Cosmic Ray Conference (Merida, Yucatan, Mexico) 2007.7
 - The yearly and seasonal variations from 7-year data set of daily cosmogenic nuclide Be-7 concentrations in the atmosphere, S. Kikuchi, H. Sakurai, S. Gunji, F. Tokanai, N. Sato, A. Kadokura
 - Size distribution of aerosols attached by cosmogenic nuclide Be-7 in the atmosphere at the TA telescope station, S. Kikuchi, H. Sakurai, S. Gunji, F. Tokanai, F. Yanagisawa, S. Udo
 - Variation of ^{14}C concentrations of single-yr tree rings at the rapid change in 2600-yrBP, Y. Takahashi, H. Sakurai, K. Suzuki, S. Gunji, F. Tokanai

まとめ

- 太陽の活動期から静穏期にあたる2000年からの9年間にわたるBe-7濃度測定結果を示した。
- 年変動は宇宙線強度変動を反映しており、productionを考慮すると高緯度地域からの寄与が必要。
- 微弱放射能Na-22季節変動が得られた。
- 27日周期変動成分を示した。
- 現代データとの比較から、古木年輪の $\delta O-18$, K-40測定により気候環境の推定の可能性を調べている。