

大気中宇宙線生成核種 Be-7 の 観測データセットについて

櫻井敬久¹⁾、門叶冬樹¹⁾、武山美麗¹⁾
小財正義²⁾、門倉 昭²⁾

1)山形大学理学部、

2)極域環境データサイエンスセンター

outline

- 宇宙線生成核種Be-7の地表濃度観測データの紹介
- Be-7濃度の季節変動とHYSPLIT modelによる流跡線の比較
- 流跡線におけるBe-7生成量計算と3-BOX計算によるBe-7濃度の推定
- 大気中Be-7濃度観測データの管理・公開方法の検討

objectives

現在の宇宙線生成核種観測データを蓄積して過去の宇宙線強度変動・太陽活動を調べる

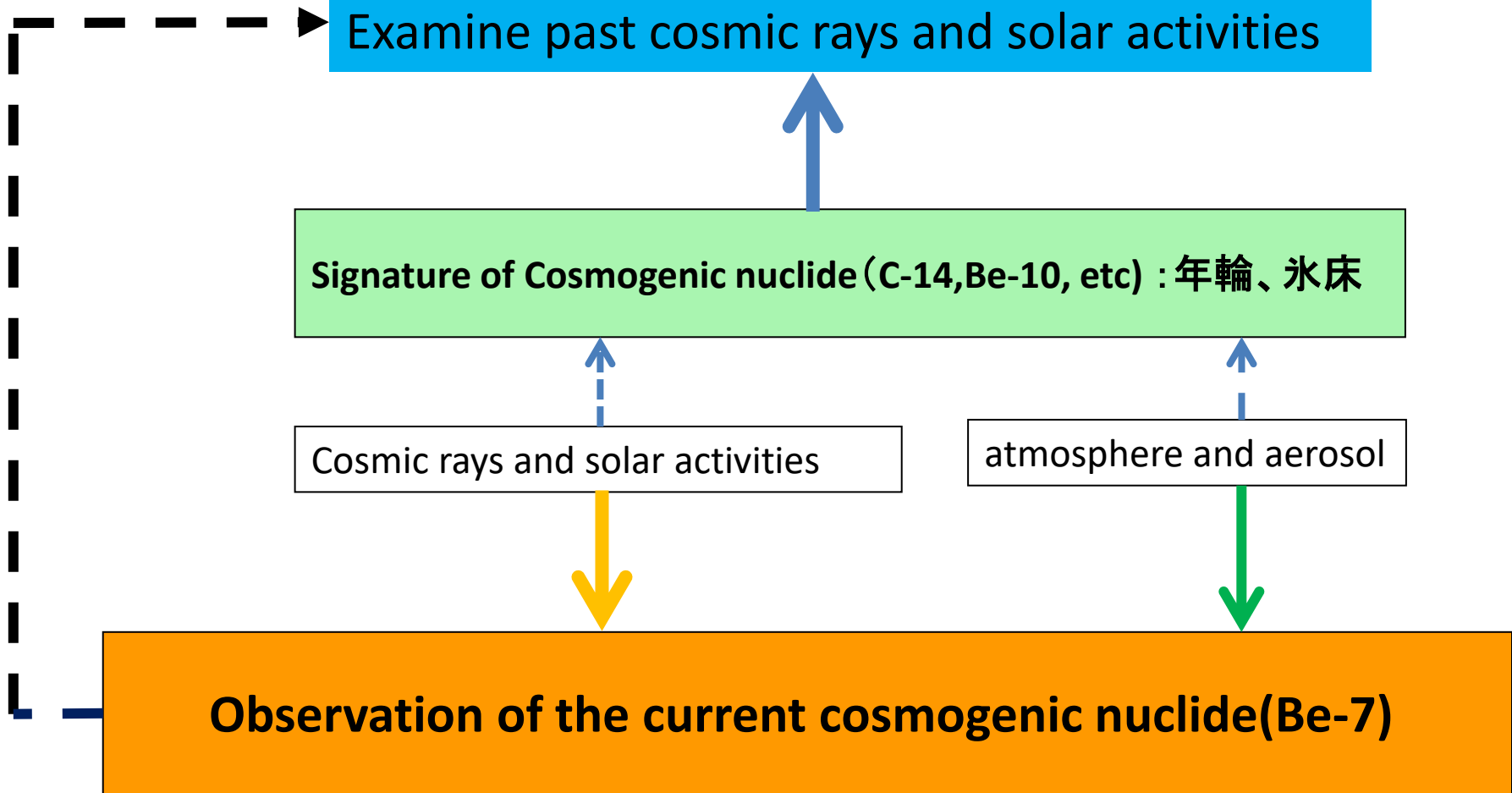
Examine past cosmic rays and solar activities

Signature of Cosmogenic nuclide (C-14, Be-10, etc) : 年輪、氷床

Cosmic rays and solar activities

atmosphere and aerosol

Observation of the current cosmogenic nuclide (Be-7)

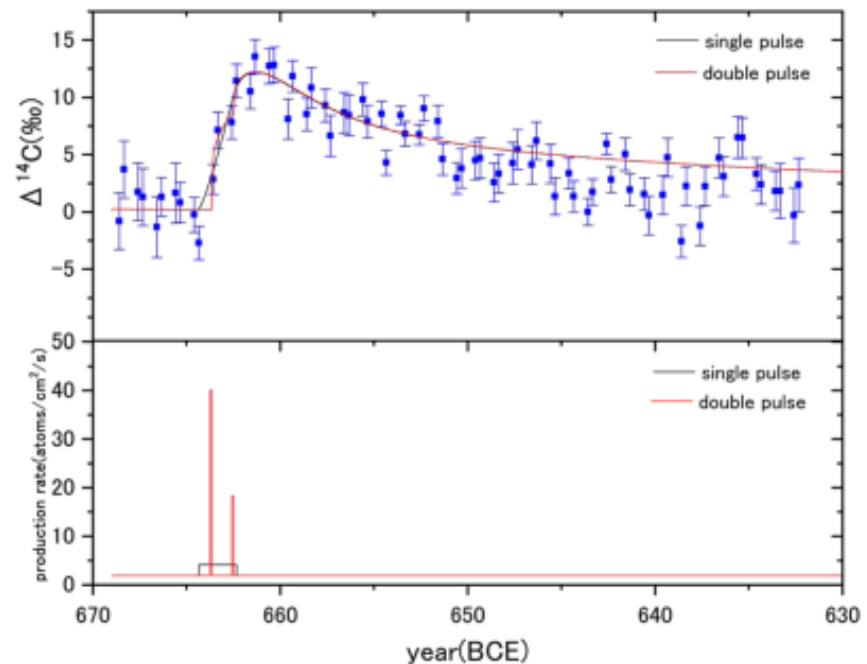


OPEN Prolonged production of ^{14}C during the ~660 BCE solar proton event from Japanese tree rings

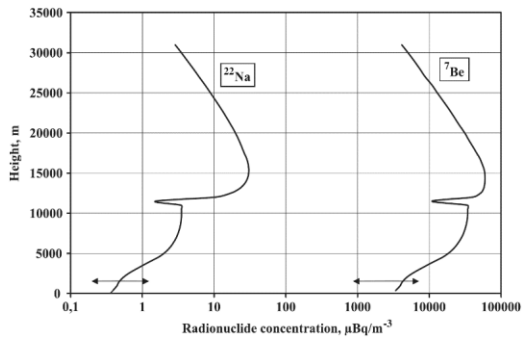
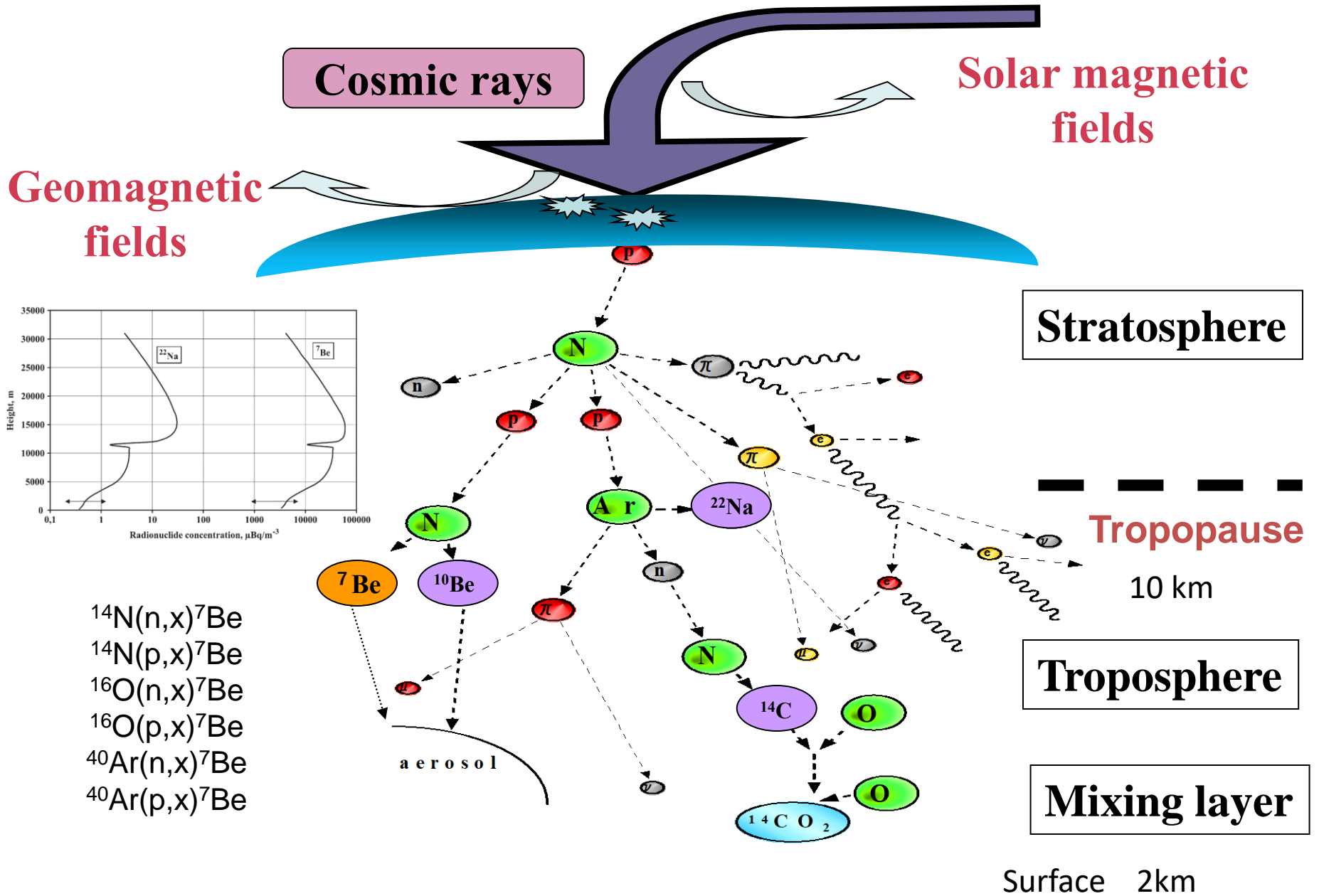
Hirohisa Sakurai^{1*}, Fuyuki Tokanai¹, Fusa Miyake^{1b}^{2*}, Kazuho Horiuchi³, Kimiaki Masuda², Hiroko Miyahara⁴, Motonari Ohyama⁵, Minoru Sakamoto^{1b}^{6,8}, Takumi Mitsutani⁷ & Toru Moriya¹



鳥海神大杉



Cosmogenic nuclide in the atmosphere



Stratosphere

Tropopause
10 km

Troposphere

Mixing layer

Surface 2km

高緯度、中緯度、低緯度で試料収集

	Lati.	Long.	Alti.	start
Yamagata	38.25	140.3	153m	2000/Jan.
Iceland	64.47	-21.2	120m	2003/Sept.
Bangkok	13.1	100.5	0m	2014/Feb.



Yamagata



2023/9に再設置



Iceland



Bangkok

Daily Sampling and Measurement of Be-7 in the atmosphere from 2000

アイスランド(高緯度) 2003年、バンコク(低緯度) 2014年より

Sampling site

Altitude: 153 m
Latitude: 38.25
Longitude: 140.3



Collected filter

• Glass fiber filter

collection efficiency : 99.99%
(ϕ 0.3 μ m particle)

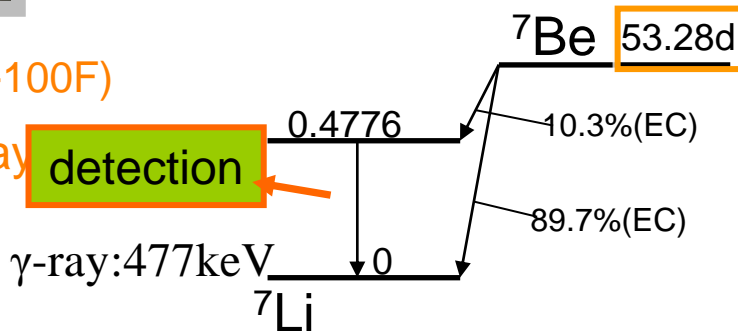
Measurement time : 6 hours

detection efficiency	2.68%
resolution @1.33MeV	1.69keV

High Volume Air Sampler (HV-100F)

Sampling time: 23 hours/day

Intake rate: 1000 L/min.

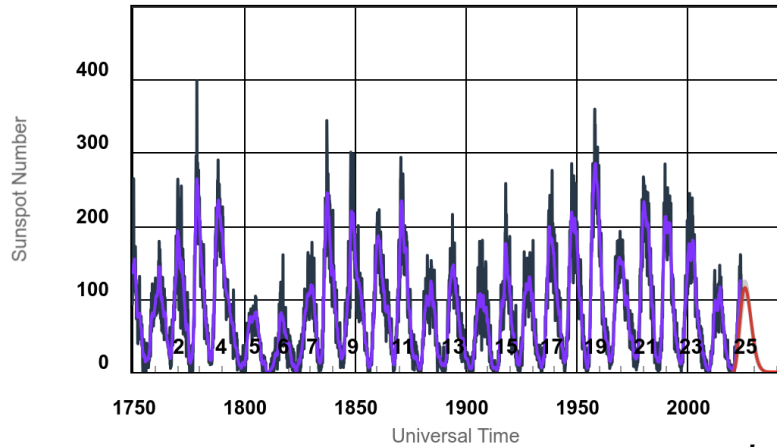


detection

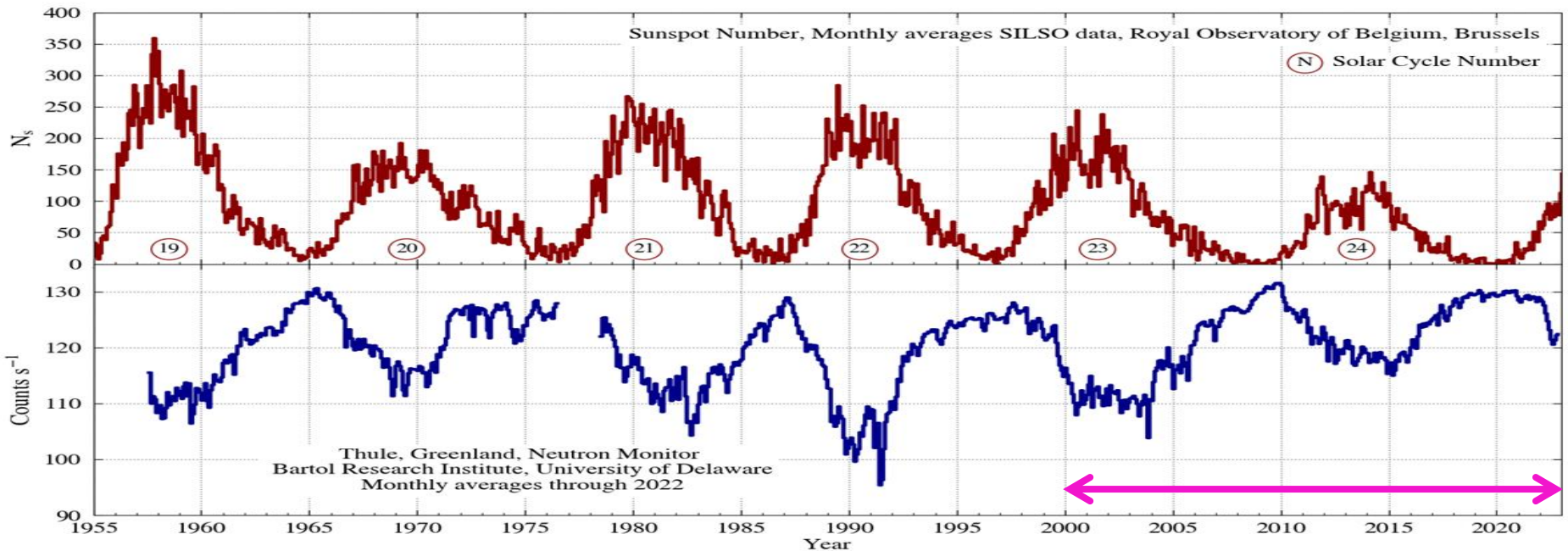
柏地下微弱放射能測定設備

HPGe detector

1750年からの太陽黒点数の変動と予測 (NOAA/NWS space weather prediction center)

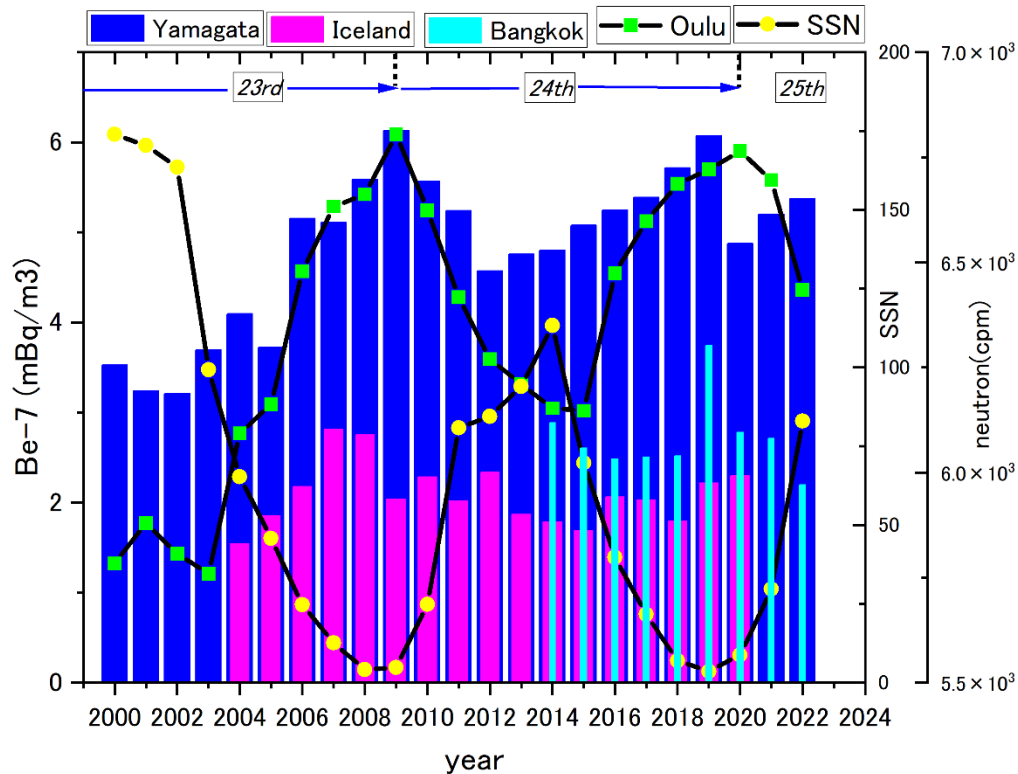


宇宙線強度変動



Be-7観測データ期間

高緯度、中緯度、低緯度でのBe-7濃度の年変動



緯度依存性 <2014—2019>

	Be-7濃度 (mBq/m ³)
Iceland	1.9 ± 0.2
Yamagata	5.4 ± 0.5
Bangkok	2.8 ± 0.5

中緯度のBe-7濃度は、高緯度および低緯度の2倍以上である。

太陽活動期と変動率

Solar cycle	Be-7 山形	Oulu neutron	SSN (peak)
23 rd (2000-2009)	31.8%	8.2%	173.9@2000
24 th (2014-2019)	14.4%	4.7%	113.3@2014
24 th /23 rd	0.45	0.57	0.65

・Be-7濃度は太陽活動期に対応して変動している。

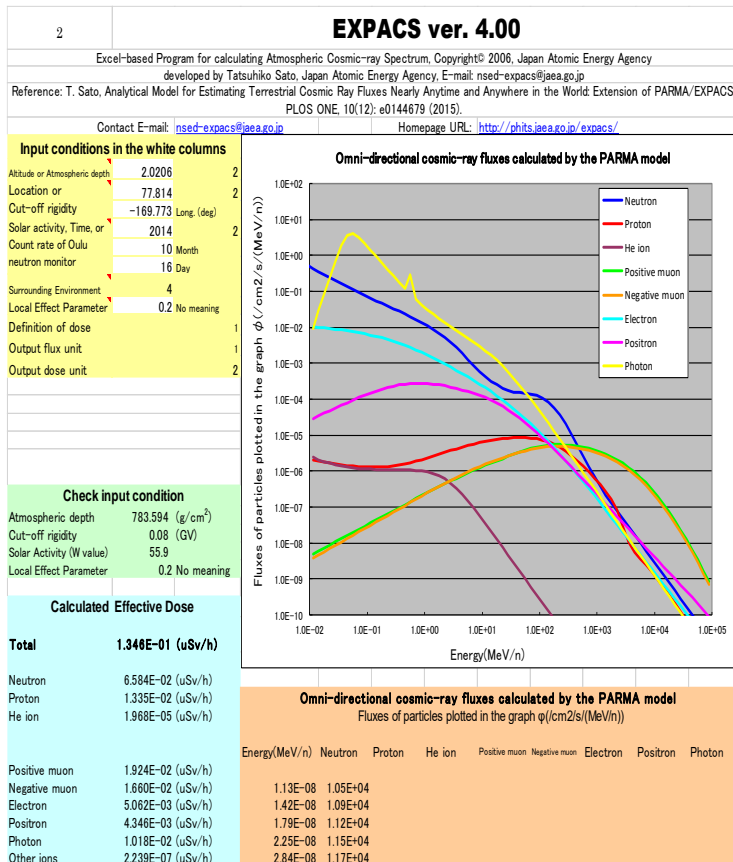
・Be-7濃度変動は宇宙線(中性子)変動の約4倍である。

Calculation of the Be-7 production

EXPACS

EXPACS can calculate the energy spectrum of neutron and proton at an arbitrary location (λ, ϕ, h) and a time (t) from cosmic rays.

$F_{n,p}(E, \lambda, \phi, h, t) dE$: where $\lambda, \phi, \text{ and } h$ are latitude, longitude, and altitude.



Estimate of Be-7 production rate in an arbitrary altitude $P(\lambda, \phi, h, t)$

$$P(\lambda, \phi, h, t) = \int_{E_1}^{E_2} F_{n,p}(E, \lambda, \phi, h, t) N_{n,o} \sigma_{Be-7}(E) dE$$

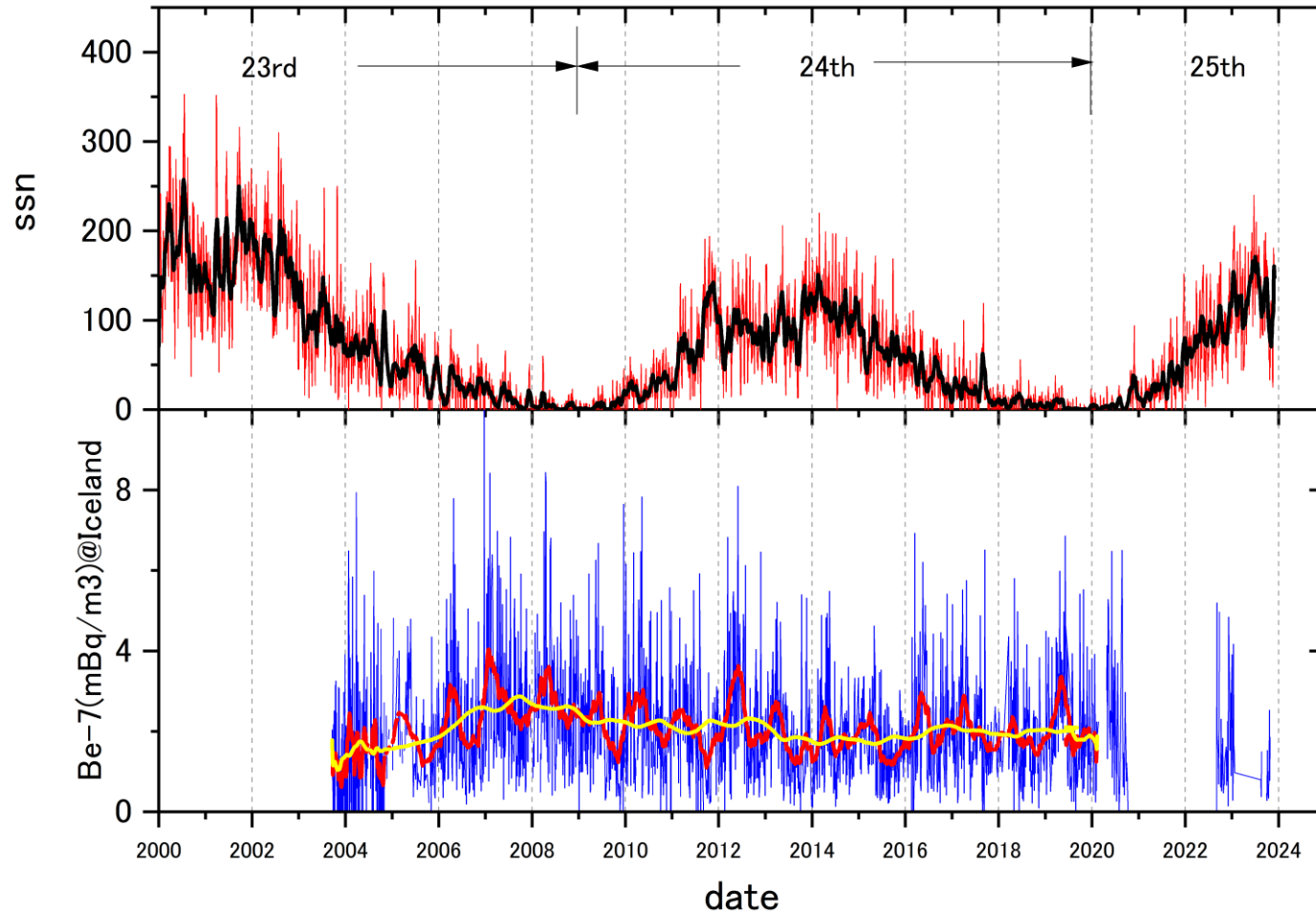
$N_{n,o}(\lambda, \phi, h, t)$... the number of nitrogen or oxygen in air mass

σ_{Be-7} ... Cross section of Be-7 production

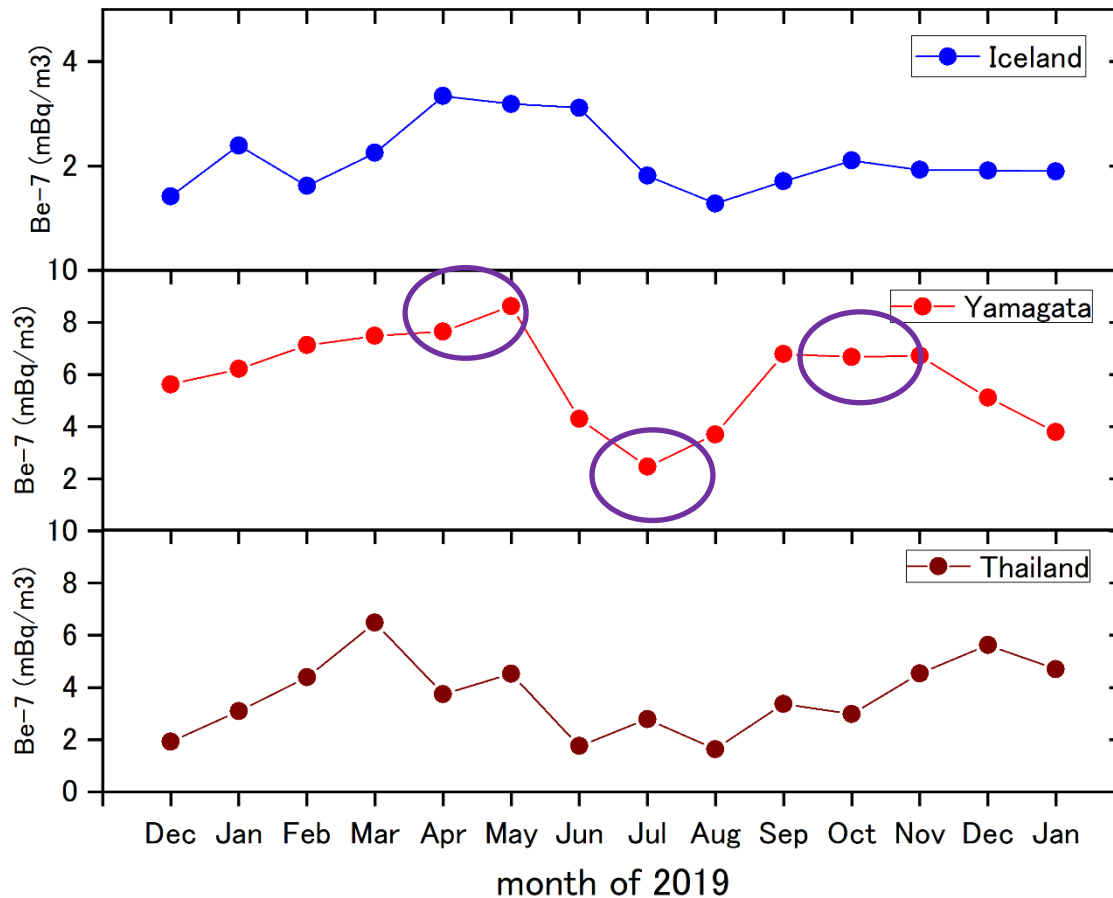
E_1, E_2 ... Minimum, maximum energy (10MeV and 100GeV)

地表Be-7濃度のデータセット

Iceland



Seasonal profiles of Be-7 concentrations in 2019



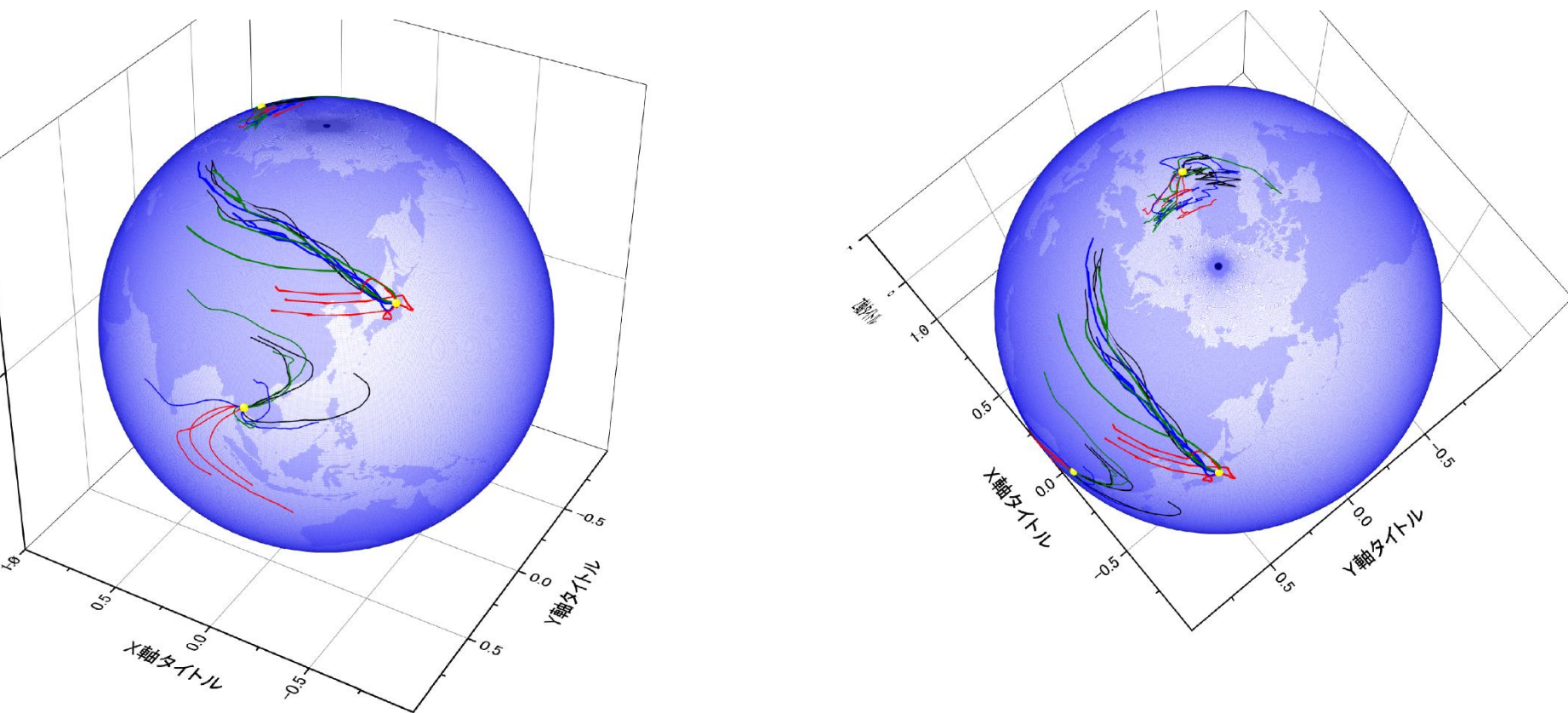
In Yamagata, Be-7 concentrations are high in spring and autumn, and low in summer.

Factors of seasonal variations

- modulation parameter of CR
- trajectories of air-mass
- latitude variability of production rate
- altitudes of tropopause

Monthly back-trajectories of air-mass in 2019 by NOAA HYSPLIT model

The monthly trajectory is the average of trajectories for every six hours in the month.



At Yamagata, the trajectories in spring (blue) and fall (green) pass through on the higher latitudes, while those in summer (red) on lower latitudes.

3-box model

from production to concentration

P: production rates

K: residence time

λ : Be-7 half life 53days

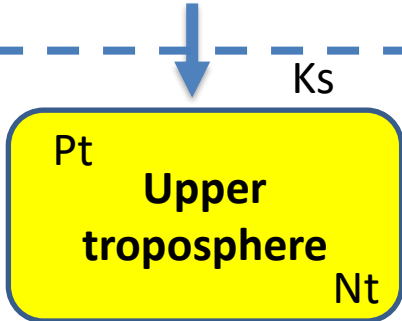
atoms/g_{air}/s



$$\frac{dN_S}{dt} = P_S - K_S N_S - \lambda N_S$$

N: atoms/box

tropopause



$$\frac{dN_T}{dt} = P_T - K_T N_T - \lambda N_T + K_S N_S$$



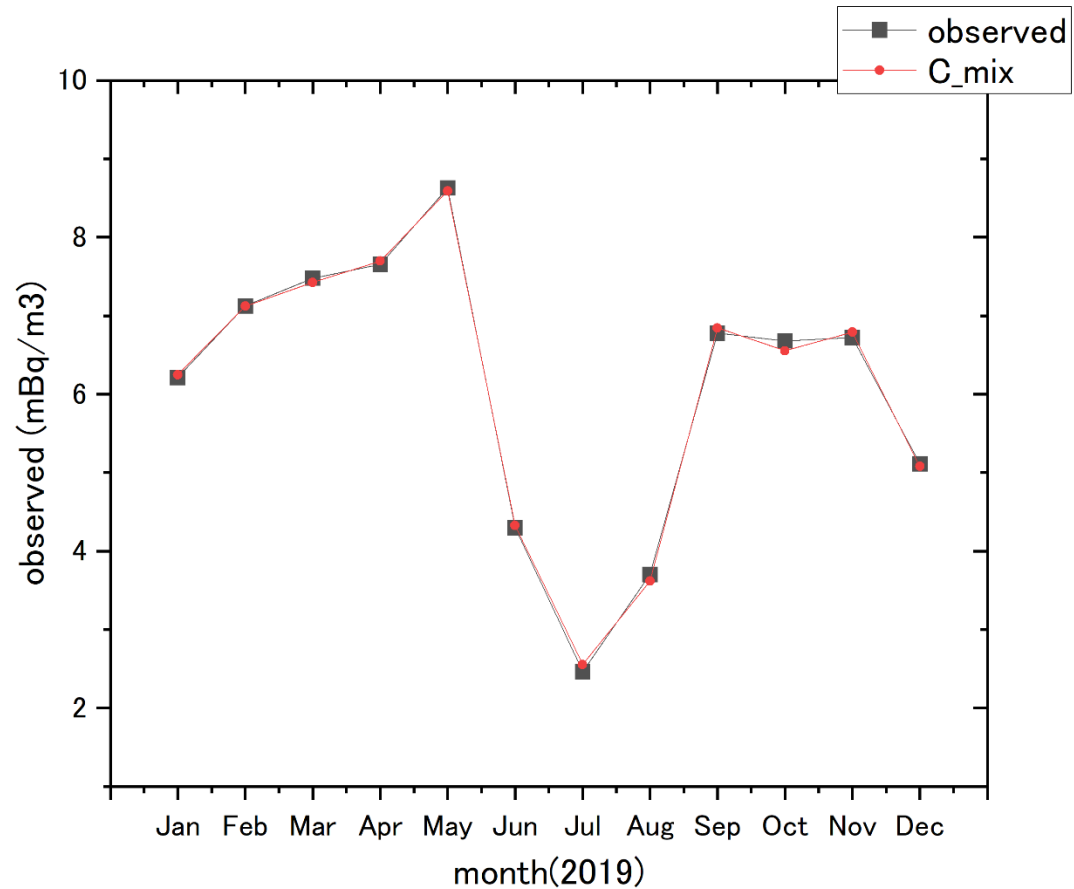
$$\frac{dN_g}{dt} = P_g - K_g N_g - \lambda N_g + K_T N_T$$

ground

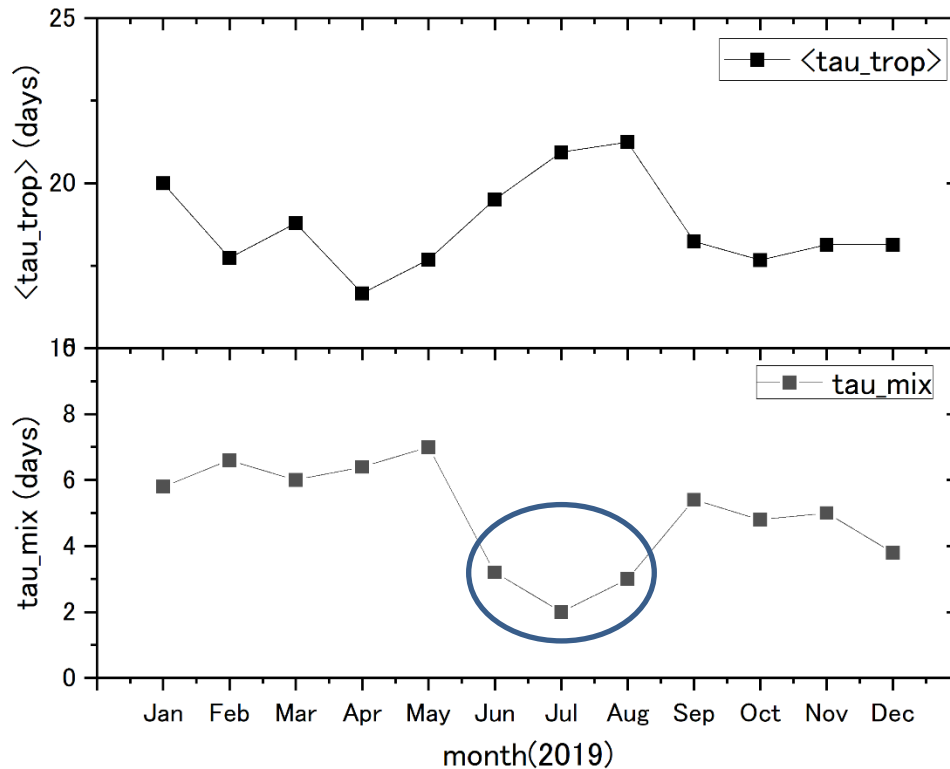


Concentration(mBq/m³_{air})

Observed Be-7 concentration and optimized concentration by 3-Box model



Optimized residence times in the troposphere and mixed layer boxes



The shorter residence times in the mixed layer box indicate a contribution of rather higher wet deposition rates in summer season.

大気中Be-7濃度観測データの管理・公開方法の検討

- 太陽地球環境データベースIUGONETへの登録を想定
- 宇宙科学の標準データ形式CDFへの変換テスト
 - ✓ Common Data Format: GSFC/NASAが管理・運用
 - ✓ Self-describingなバイナリデータ
 - 使用環境に依存せず使える
 - データ・メタデータを一元管理できる
- 宇宙科学用解析ソフトウェアSPEDASとの結合テスト
 - ✓ Space Physics Environment Data Analysis Software: UC Berkeley, UCLAなどが管理・運用
 - ✓ CDF変換したデータをリモートリポジトリへ保存
 - ✓ SPEDASの既存ライブラリを改造して専用プラグインを作成
 - ✓ CDFデータのSPEDASによる読取・解析テスト

リモートリポジトリ

観測データ
(CDF)

インターネット

ローカルマシン

jupyter



専用プラグイン
(Python)

```
In [1]: from my_modules.cdf import yamagata ← 専用プラグインをインポート
In [60]: yamagata.load(user=user, passwd=passwd) ← リモートリポジトリからデータD/L
22-Feb-24 11:16:55: Downloading remote index: https://polaris.nipr.ac.jp/~kozai-cr/login_yamagata/
22-Feb-24 11:16:55: Downloading https://polaris.nipr.ac.jp/~kozai-cr/login_yamagata/yamagata_ri_hus_v01.cdf to ./yamagata_data/yamagata_ri_hus_v01.cdf
22-Feb-24 11:16:55: Download complete: ./yamagata_data/yamagata_ri_hus_v01.cdf
Out[60]: ['epoch_end_HUS', 'concentration_HUS', 'error_HUS']
In [63]: plt.plot(['concentration_HUS', 'error_HUS']) ← 濃度 & エラーを時系列プロット
Conc [mBq/m3]
Error [mBq/m3]
2004 2008 2012 2016 2020 2024
In [66]: pyt.get_data('concentration_HUS', metadata=True) ← メタデータを確認
Out[66]: {'CDF': {'VATT': {'FIELDNAM': 'CONCENTRATION',
'CATDESC': 'Be-7 concentration',
'VALIDMIN': '0',
'VALIDMAX': '100',
'SCALEMIN': '0',
'SCALEMAX': '100',
'UNITS': 'mBq/m3',
'DEPEND_0': 'epoch_start',
'LABLAXIS': 'Conc',
'MONOTON': 'false',
'FORMAT': 'F6.3',
'VAR_TYPE': 'data',
'AVG_TYPE': 'standard',
'DISPLAY_TYPE': 'time_series',
'SCALETYPE': 'linear'},
'GATT': {'Project': 'Yamagata Univ RI Observation',
'Discipline': 'Space Physics>Cosmic Ray Physics',
'Source_name': 'Yamagata Univ RI Observation>Atmospheric Be-7',
'Data_type': 'Key Parameter',
'Descriptor': 'Air Sampler',
'Data_version': '1',
'TITLE': 'Yamagata University: Be-7 Concentration',
'TEXT': 'TEST',
'Generated_by': 'ROI6-DS',
'Generation_date': '20240222',
'MODS': 'Created 02/2024',
'ADD_ref': '',
'Logical_file_id': 'YAMAGATA_RI_HUS_V01',
'Logical_source': 'YAMAGATA_RIHUS',
'Logical_source_description': 'Yamagata University: Be-7 Concentration',
'...': '...'}}}
```

まとめ

- 2000年から24年間の大気中宇宙線生成核種 Be-7濃度観測データセットを示した。
- Be-7の生成量計算、流跡線計算、3-BOX計算によるBe-7濃度の推定について示した。
- Be-7データのデータベース化の検討の一部を示した。