

# 乗鞍岳におけるブリューワー分光光度計を使用した オゾン・紫外線の観測 2015年

Observations of total ozone and UV solar radiation  
with Brewer spectrophotometer on the Norikura mountains in 2015

伊藤真人\*・上里 至\*・高野松美\*・居島 修\*・瀧田正人\*\*・下平英明\*\*・石塚秀喜\*\*

M. Ito \*, I. Uesato \*, M. Takano \*, O. Ijima \*, M. Takita \*\*, H. Shimodaira \*\* and H. Ishitsuka \*\*

Norikura Observation Site  
36.11 N 137.56 E 2,772m a.s.l.

\* 気象庁 高層気象台

Aerological Observatory, JMA

\*\* 東京大学 宇宙線研究所 高エネルギー宇宙線研究部門

High Energy Cosmic Ray Division, ICRR

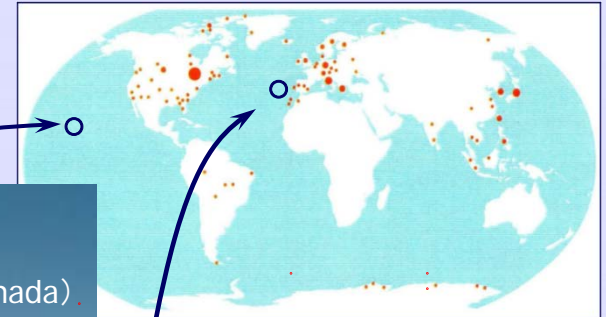
# 経緯

- ◆ ブリュウワー分光光度計 (Brewer Spectrophotometer)  
＜アジア地区校正センター WMO/RBCC-A (Regional Brewer Calibration Centre, Asia)＞ …… 設立の要望  
➡ 国内で  $O_3$ ・ $SO_2$  観測用常数の校正 (絶対検定) や 高精度UV観測

- ◆ 高地の  $O_3$ ・波長別UV量 …… 詳細に把握  
➡ 紫外線予測・気候モデルの高精度化・健康への影響評価



2009年～ 乗鞍観測所  
36.11N 137.56E 2,772m(受光面)



## 常数校正 (絶対検定) の条件

- ・ 中～低緯度の高地
- ・ 汚染物質、エアロゾル等なし
- ・ 快晴日が多い
- ・ 天空開放度が良
- ・ 雷、風の影響を受けにくい
- ・ 測器搬入可能
- ・ 電源施設等

Mauna Loa 世界準器の校正  
19.53N 155.58W 3,397m  
(WMO/WBCC 世界校正センター EC, Canada)



Photo. by Mr. T. Grajnar, MSC.

Brewer Network  
世界の測器数 → 220以上

アジア諸国保有台数 (50以上)  
日本 (18) 中国 (9) 韓国 (5)  
インド (5) 台湾 (3) ベトナム (3)  
タイ (2) インドネシア (2) イラン (1)  
マレーシア (1) ネパール (1)  
フィリピン (1) UAE (1)

## 研究目的

乗鞍において

- ①  $O_3$ ・ $SO_2$ ・波長別UV量 → 高精度観測
- ②  $O_3$ ・ $SO_2$  観測用常数 → 校正 (絶対検定)
- ③ 各種測器や点検装置 → 作動試験
- ④ 自然環境 (日射量等) → 概要を把握

WMO/RBCC-E ヨーロッパ地区校正センター  
Izaña Observatory, Spain  
28.29N 16.49W 2,367m

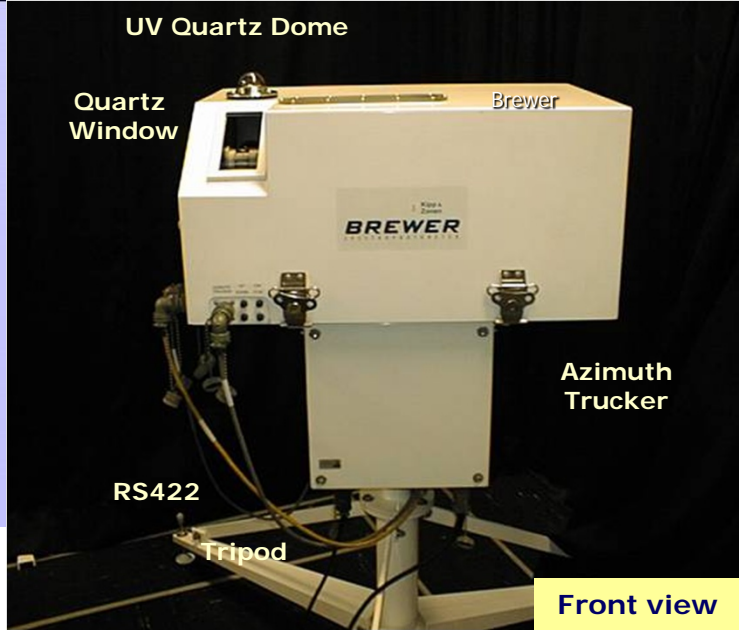


Photo. by Dr. A. Redondas, RBCC-E

# ブルーワー分光光度計 MKIII

## <観測の種類>

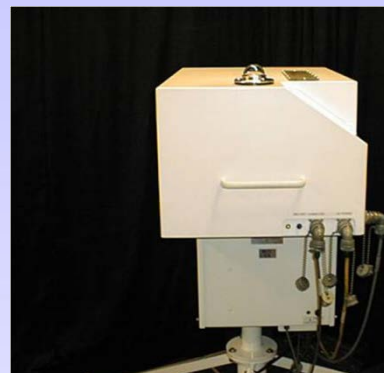
- ◆ 全天・散乱波長別UV量 (全天 $GL_{UV}$ ・散乱 $DF_{UV}$ )  
波長 290.0 - 325.0 / 0.5nm or 波長 286.5 - 363.0 / 0.5nm
- ◆ 直射光観測による オゾン全量・二酸化硫黄全量( $ds O_3$ ・ $ds SO_2$ )
- ◆ 天頂光観測による オゾン全量・二酸化硫黄全量( $zs O_3$ ・ $zs SO_2$ )
- ◆ 月光観測による オゾン全量・二酸化硫黄全量( $fm O_3$ ・ $fm SO_2$ )
- ◆ 反転観測による オゾン鉛直分布(UM)



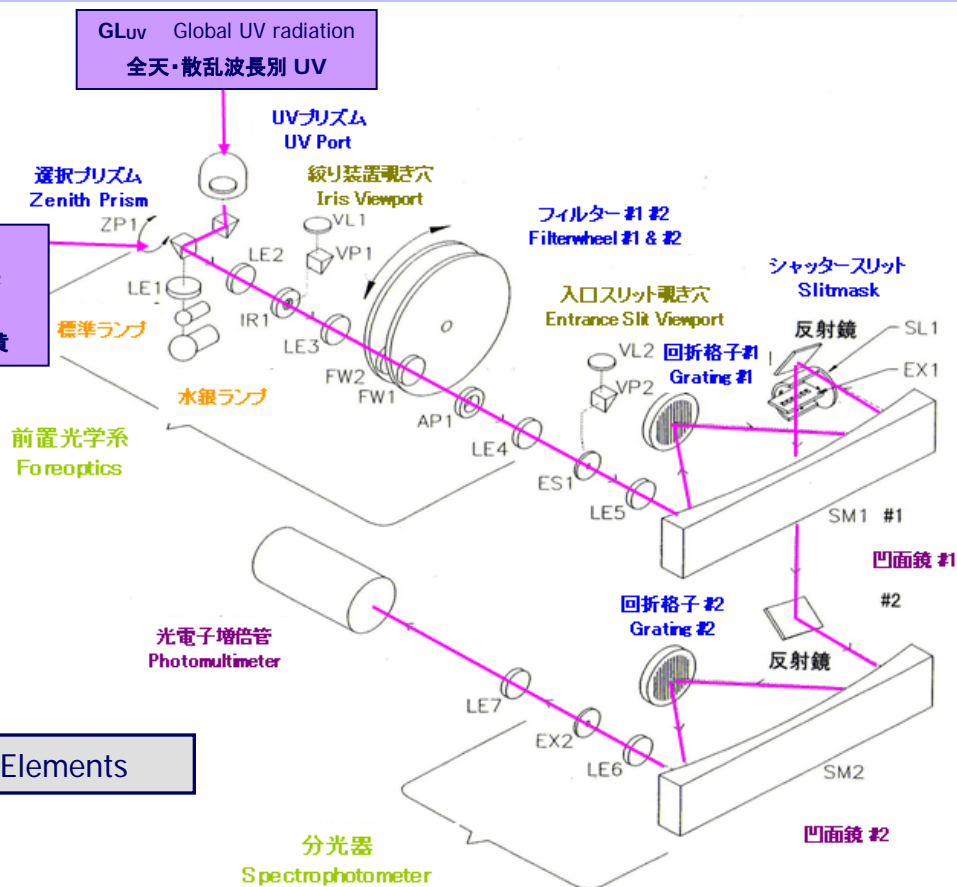
Front view

## <測定仕様>

Optics : modified Ebert spectrometer  
 Optical resolution : 0.6nm  
 Grating : 3600 grooves  $mm^{-1}$   
 Wavelength precision : 0.005nm  $step^{-1}$   
 Azimuth tracking resolution : 0.02°  $step^{-1}$   
 Zenith tracking resolution : 0.13°  $step^{-1}$   
 Power : 120/240VAC 2A 50/60Hz  
 Interface : RS422

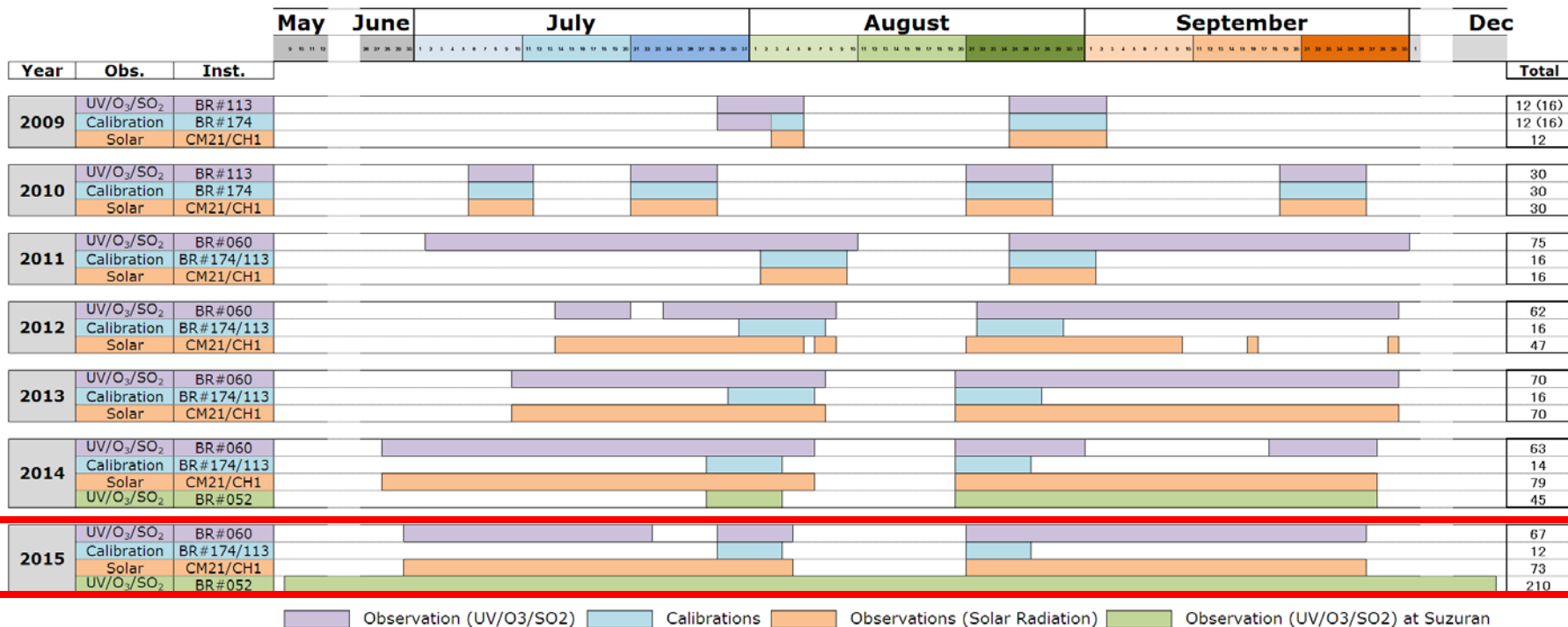


Side view



Optical Elements

# 乗鞍における7年間(2009~2015)の観測データ



## ◆ ブリューワー分光光度計 < Brewer Spectrophotometer >

乗鞍定常 BR#060・準器 BR#174・移動準器 BR#113  
 鈴蘭定常 BR#052

O<sub>3</sub>・SO<sub>2</sub> ..... オゾン・二酸化硫黄全量  
 Total O<sub>3</sub> and SO<sub>2</sub>

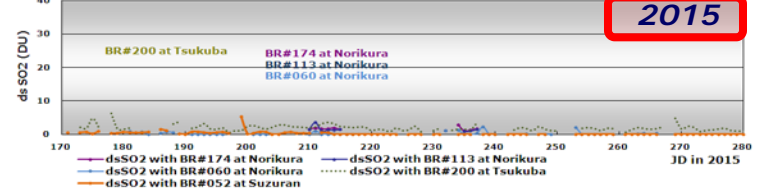
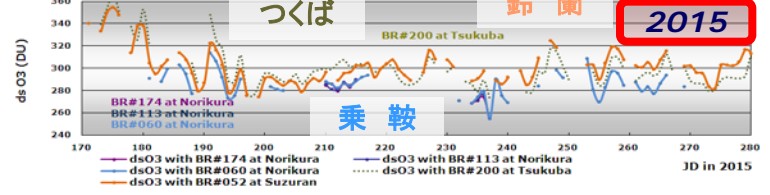
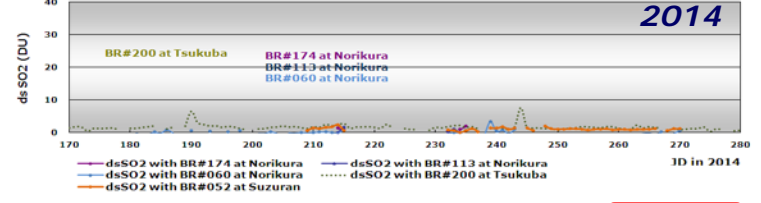
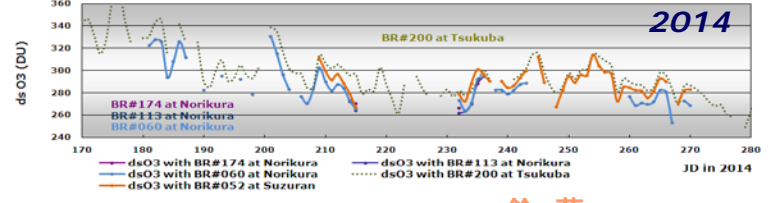
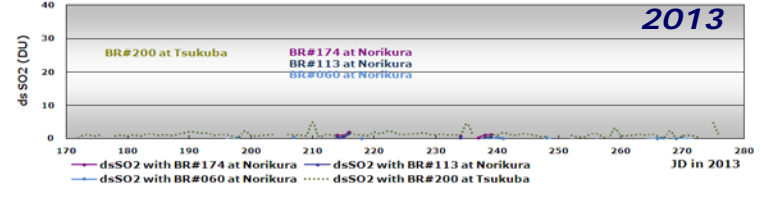
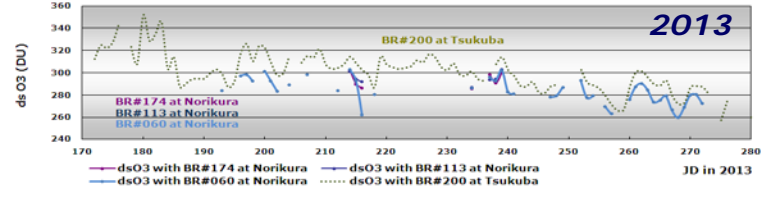
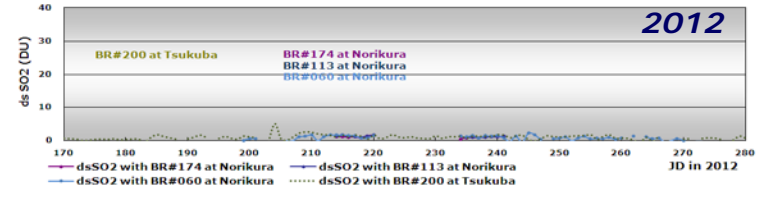
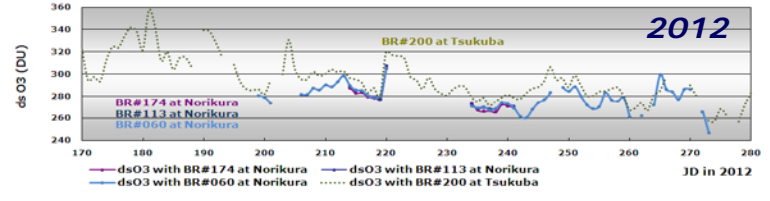
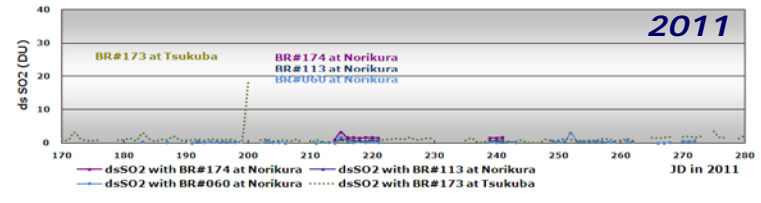
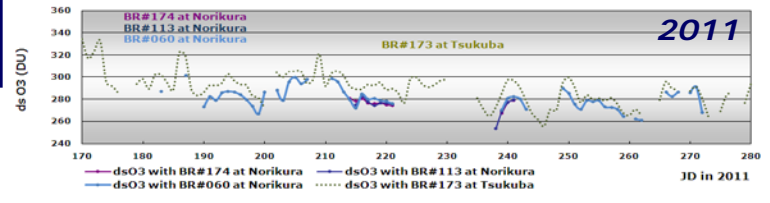
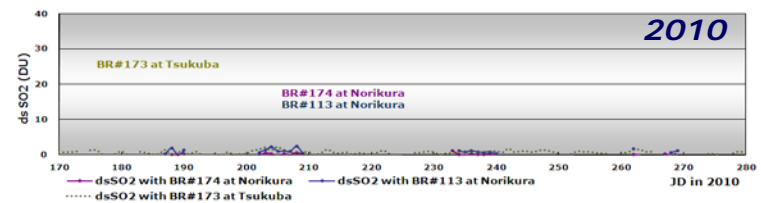
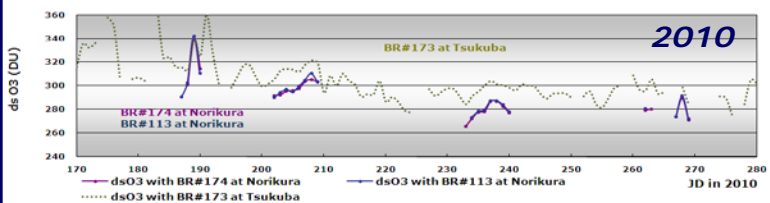
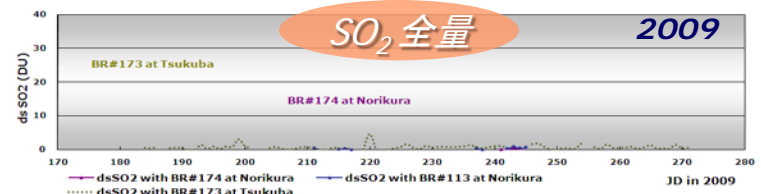
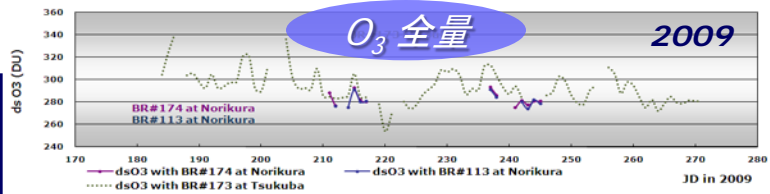
UV (GLuv・DFuv) ..... 全天・散乱波長別 UV量  
 Global and diffuse UV radiations  
 290.0-325.0nm (286.5-363.0nm)

## ◆ 全天日射計・直達日射計 < CM21・CH1 >

Solar (GL<sub>SL</sub>・DF<sub>SL</sub>・DR<sub>SL</sub>)  
 ..... 全天・散乱・直達日射量・大気混濁度  
 Global, Diffuse and Direct solar radiations/ Turbidity

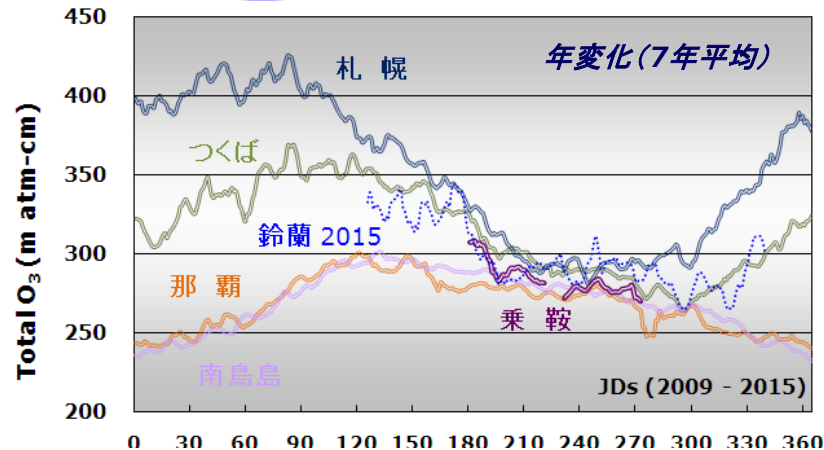


乗鞍における  
 $O_3$  全量・ $SO_2$  全量  
 日平均値  
 (2009~2015)

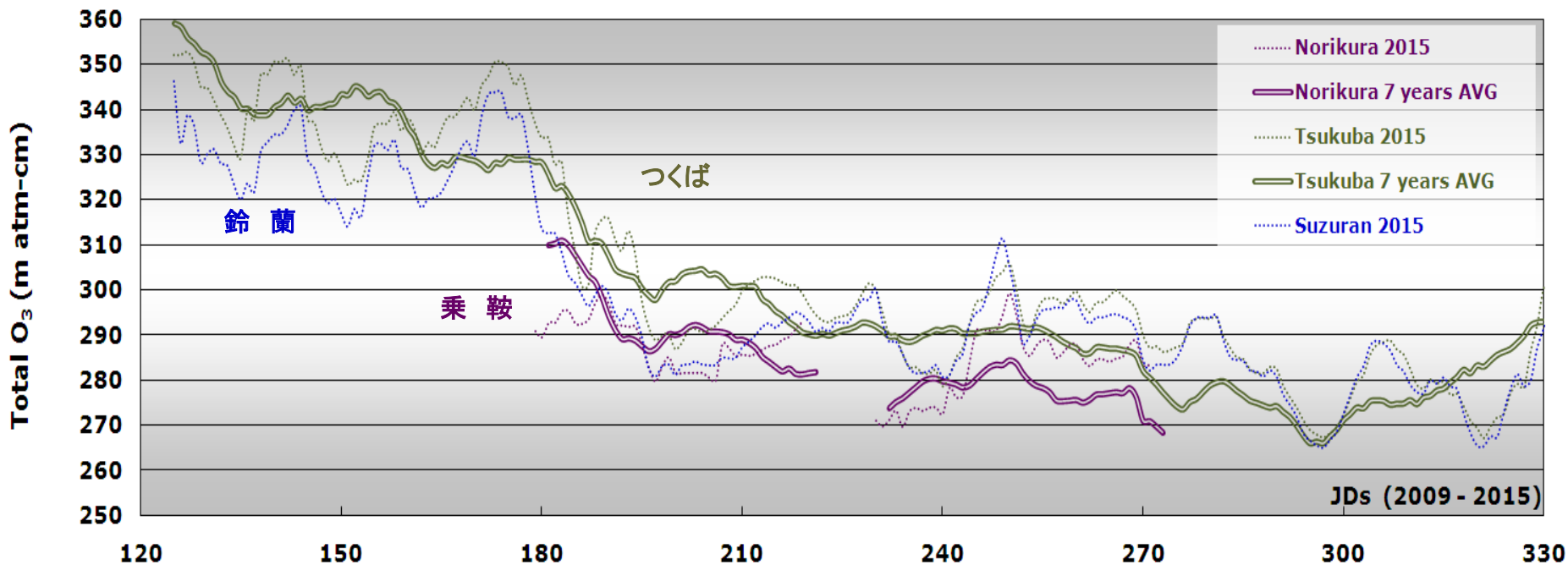


# 乗鞍における O<sub>3</sub>全量 日平均値 7年間(2009 ~ 2015年)の推移

O<sub>3</sub> 全量



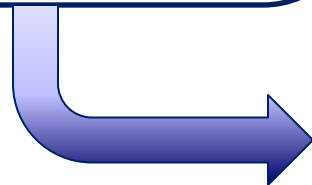
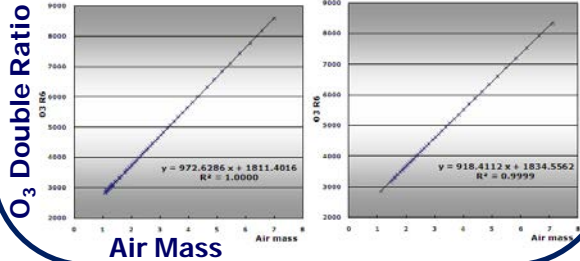
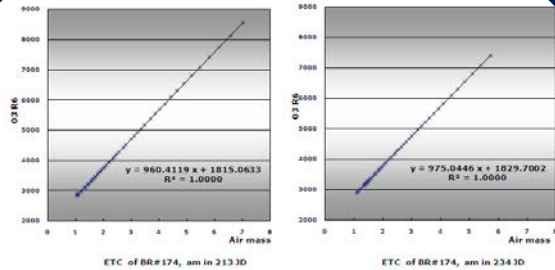
O<sub>3</sub> 全量



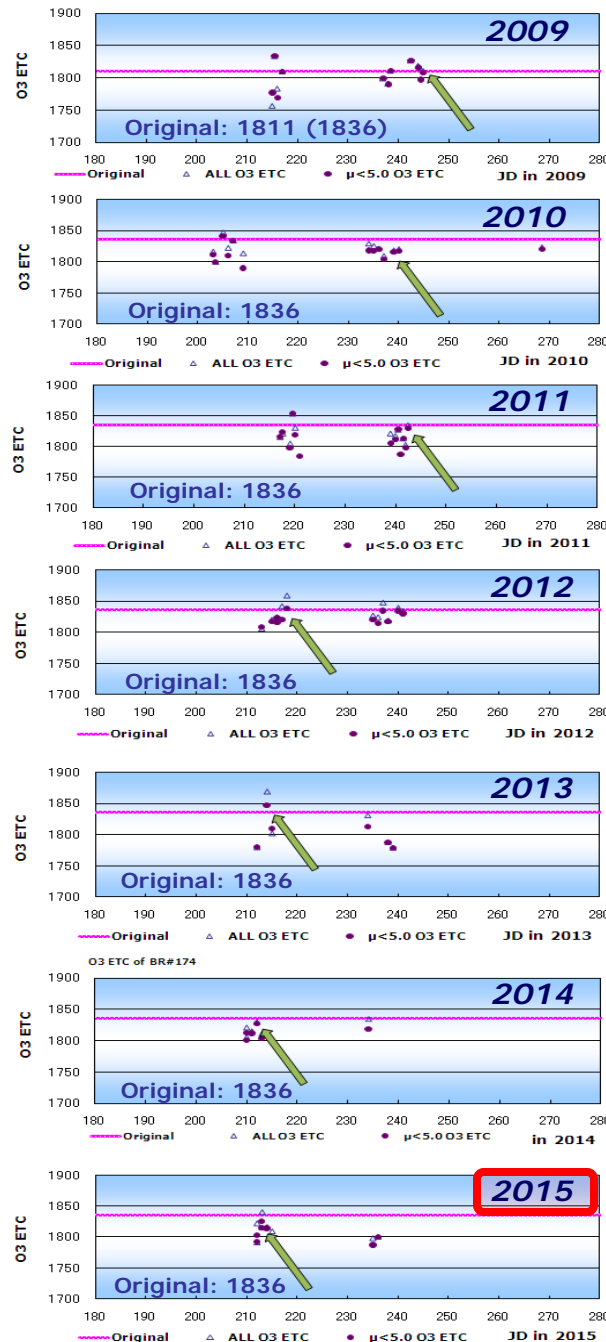
	Norikura (m atm-cm)	Tsukuba (m atm-cm)	Diff (%) to Tsukuba
O <sub>3</sub> 2015	285.8	297.6	-4.0
O <sub>3</sub> 7-AVG	284.1	295.8	-4.0

	Suzuran (m atm-cm)	Tsukuba (m atm-cm)	Diff (%) to Tsukuba
O <sub>3</sub> 2015	292.2	297.6	-1.8
O <sub>3</sub> 7-AVG	---	---	---

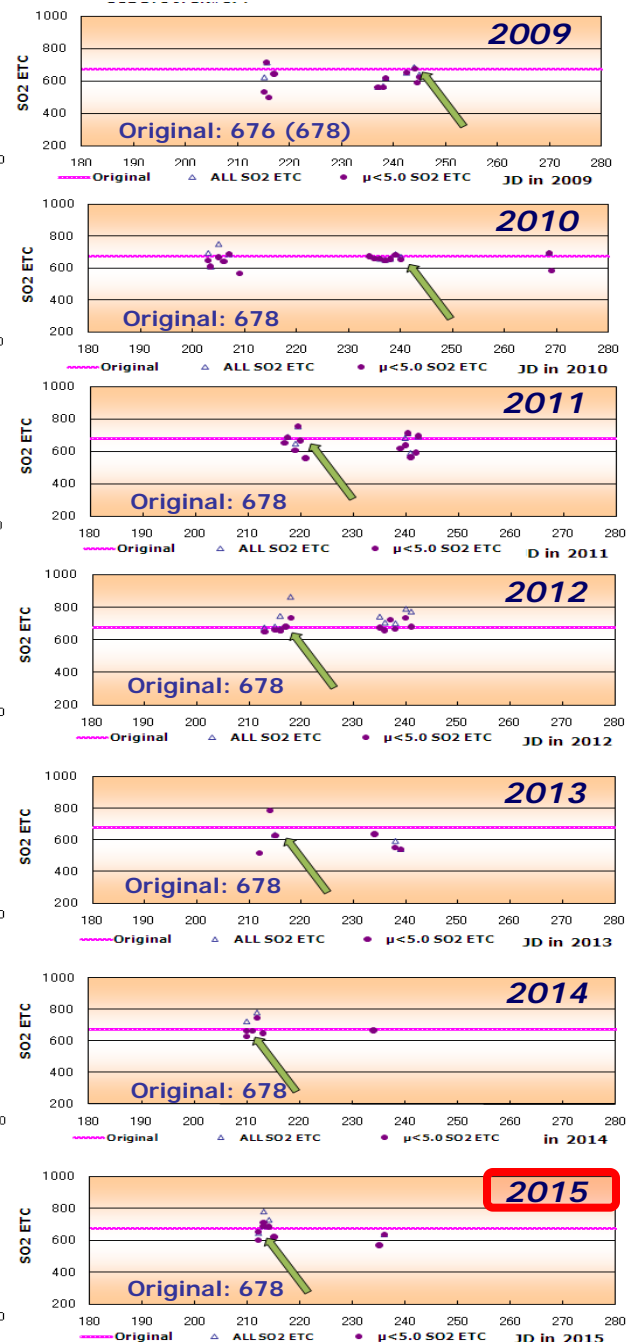
乗鞍における  
 $O_3 \cdot SO_2$  観測用常数  
 ETC (Extra-Terrestrial  
 Coefficients)の  
 絶対検定  
 2009 ~ 2015年



BR#174  $O_3$  ETC



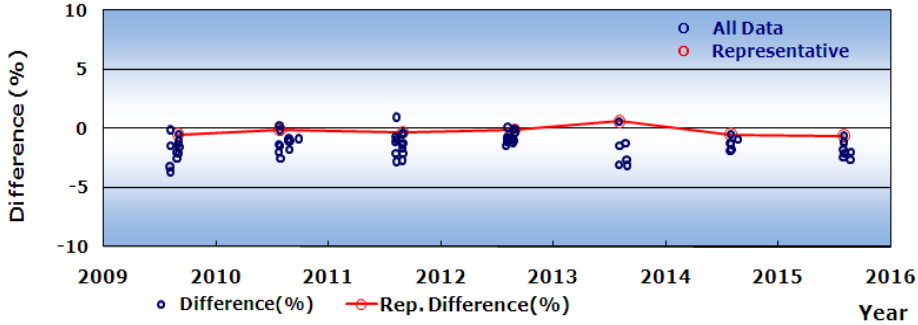
BR#174  $SO_2$  ETC



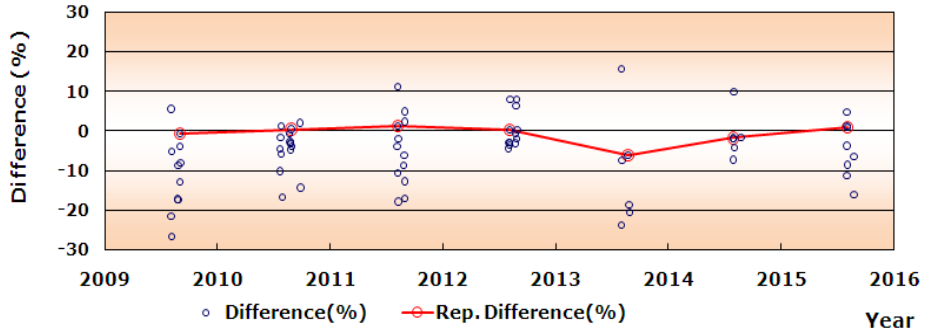
# 乗鞍における $O_3$ ・ $SO_2$ 観測用常数 ETC (Extra-Terrestrial Coefficients) の絶対検定 7年間(2009～2015年)の推移

使用中の観測用常数との差(%)

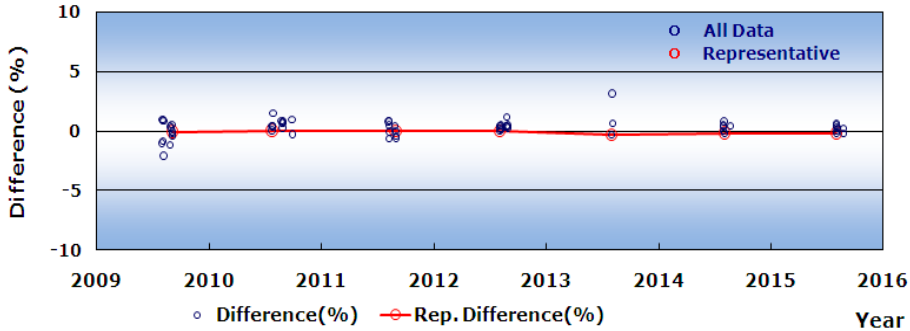
準器 BR#174  $O_3$  ETC



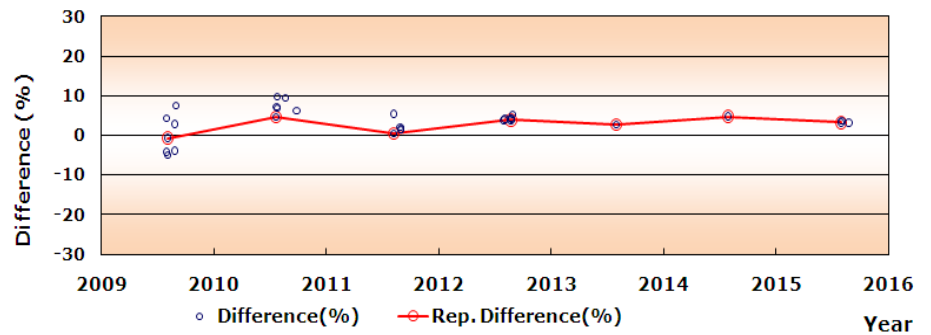
準器 BR#174  $SO_2$  ETC



移動準器 BR#113  $O_3$  ETC



移動準器 BR#113  $SO_2$  ETC





# 乗鞍における UV(CIE)量と日射量 の日積算値 2009 ~ 2015 年

UV (CIE) 量

全天 UV 量 乗鞍  
全天 UV 量 つば

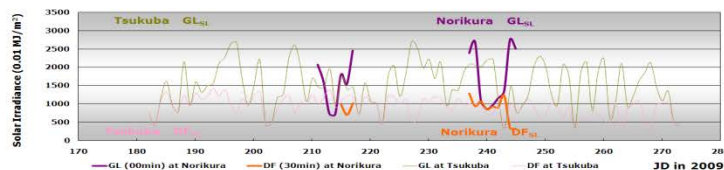
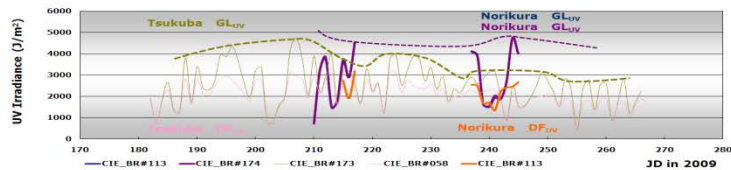
散乱 UV 量 乗鞍  
散乱 UV 量 つば

全天日射量 乗鞍  
全天日射量 つば

散乱日射量 乗鞍  
散乱日射量 つば

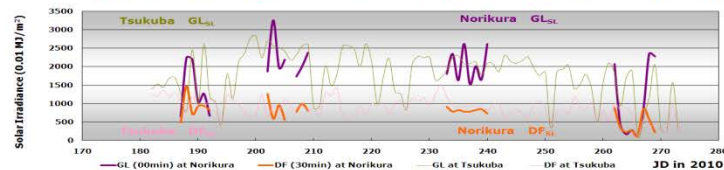
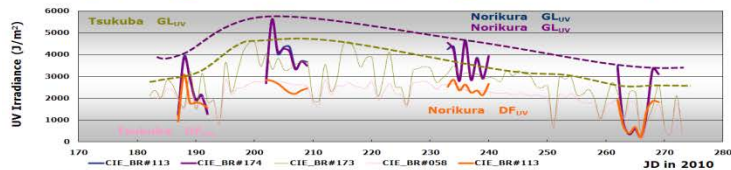
日射量

2009年



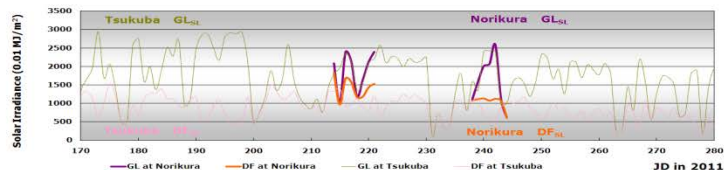
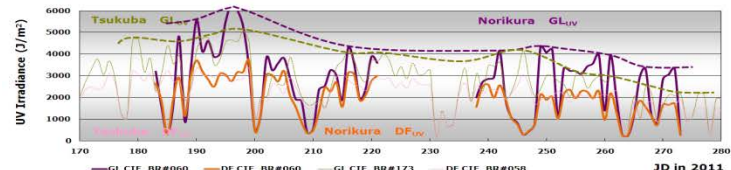
2009年

2010年



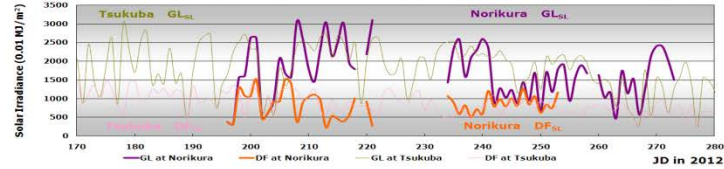
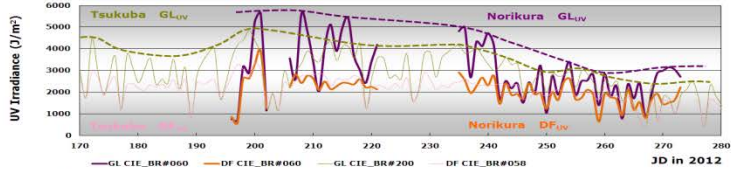
2010年

2011年



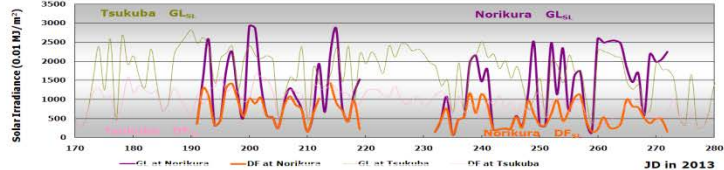
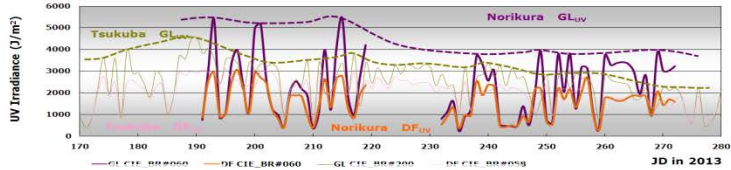
2011年

2012年



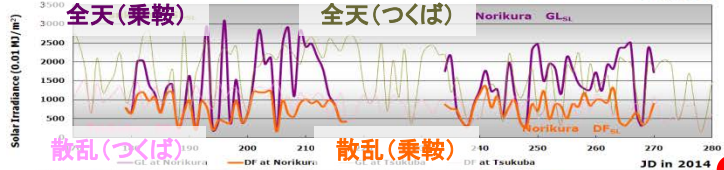
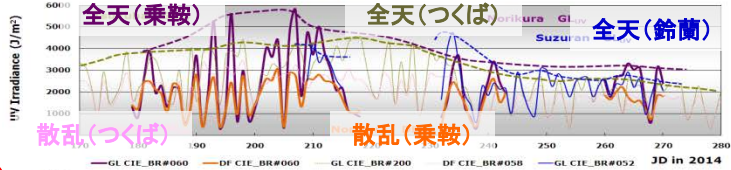
2012年

2013年



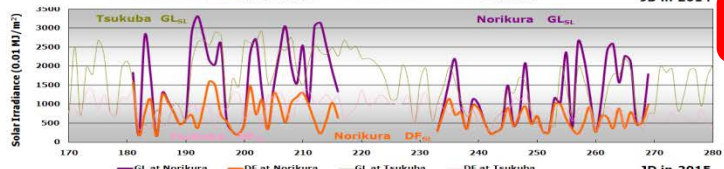
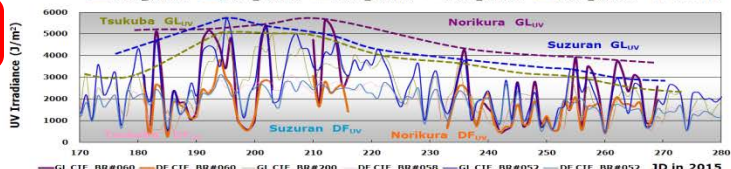
2013年

2014年



2014年

2015年



2015年

# 乗鞍における UV 散乱率 と 日射散乱率 2009 ~ 2015 年

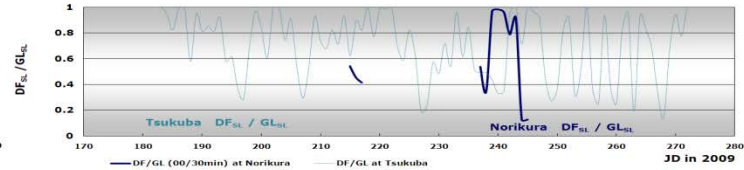
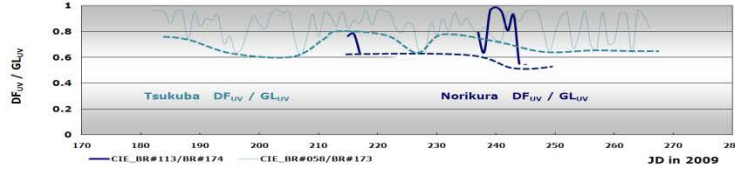
UV (CIE) 散乱率

UV 散乱率 乗鞍  
UV 散乱率 つくば

日射散乱率 乗鞍  
日射散乱率 つくば

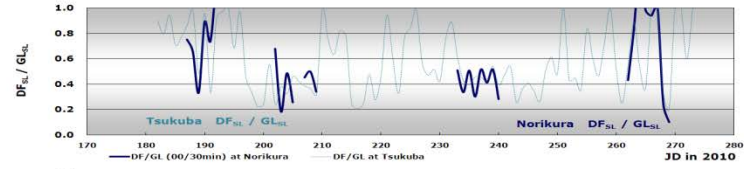
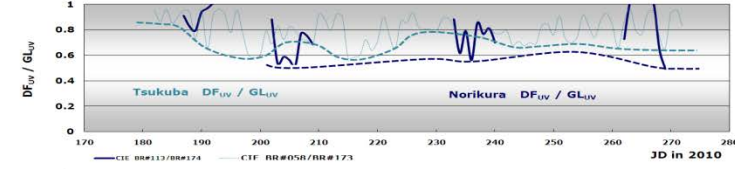
日射散乱率

2009年



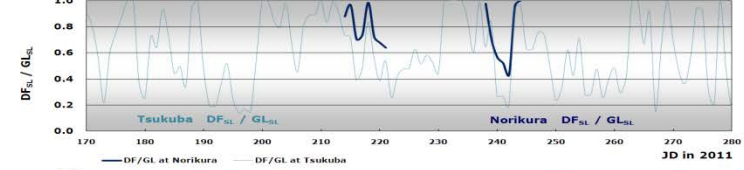
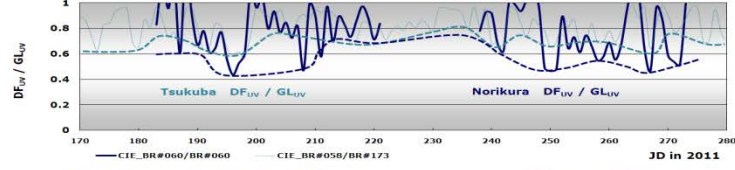
2009年

2010年



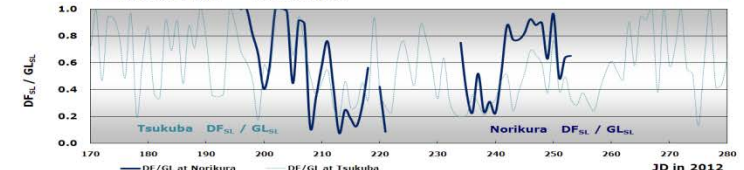
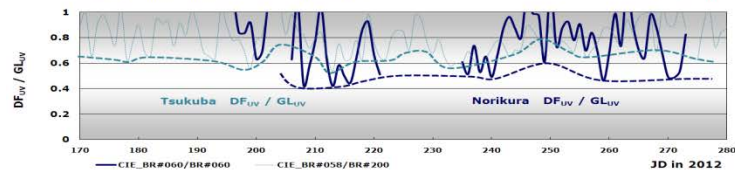
2010年

2011年



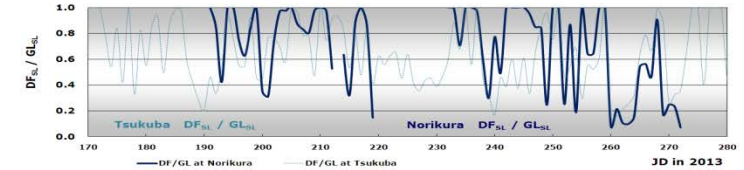
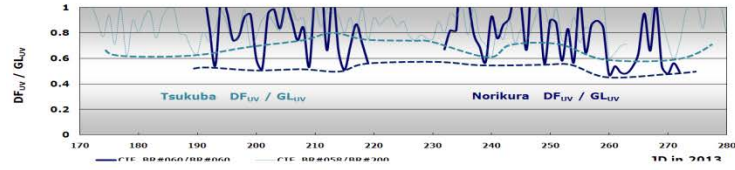
2011年

2012年



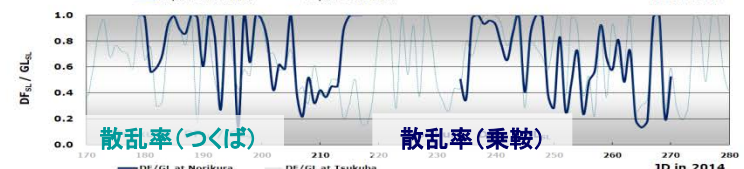
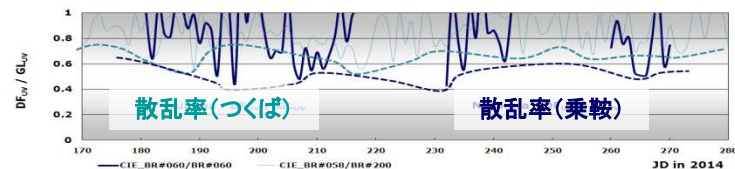
2012年

2013年



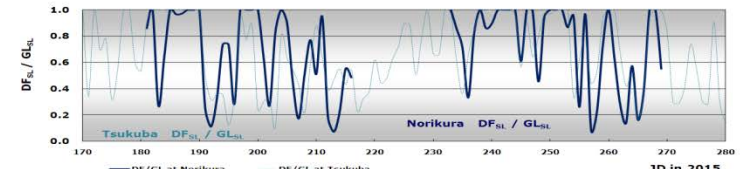
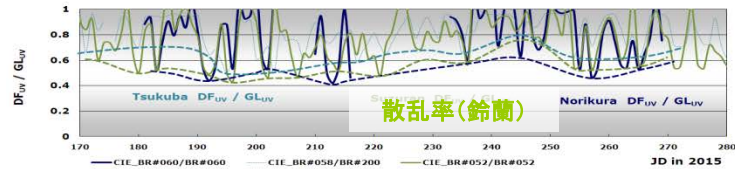
2013年

2014年



2014年

2015年



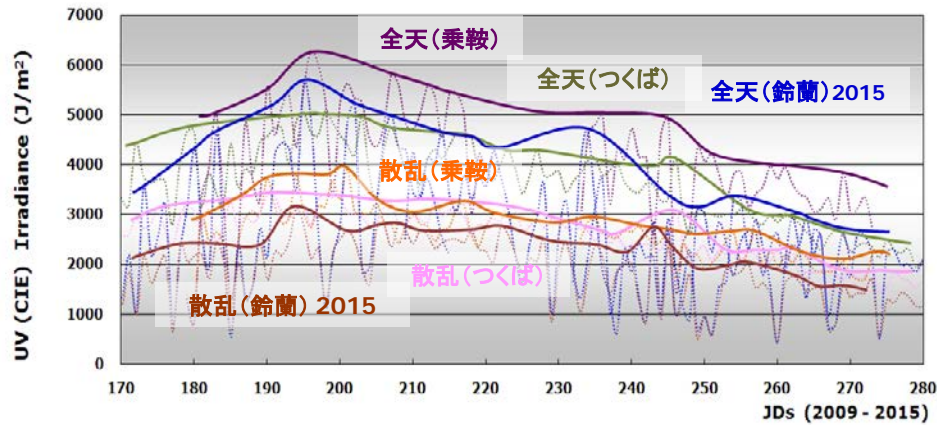
2015年

2015年

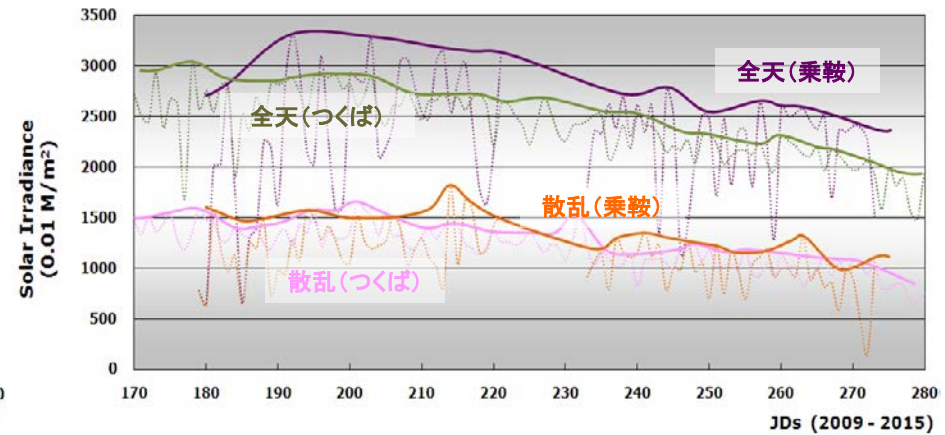
2015年

# 乗鞍における UV(CIE)量・日射量 及び それらの散乱率 日積算値の最大値 及び 散乱率の最小値 の7年間(2009～2015年)の推移

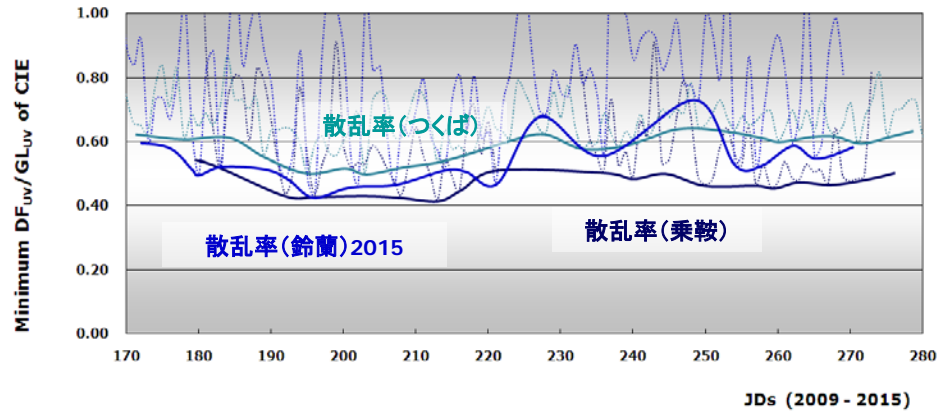
UV (CIE) 最大値



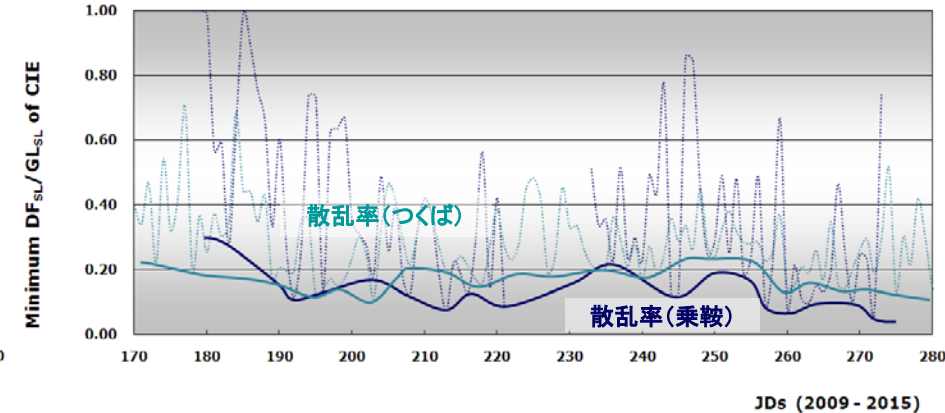
日射量 最大値



UV (CIE) 散乱率



日射散乱率





# 乗鞍における 全天・散乱 UVスペクトル 7年間(2009 ~ 2015 年)の平均

短波長帯ほど増加

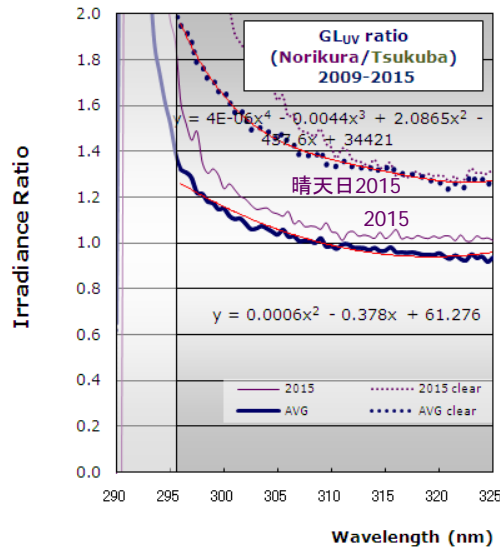
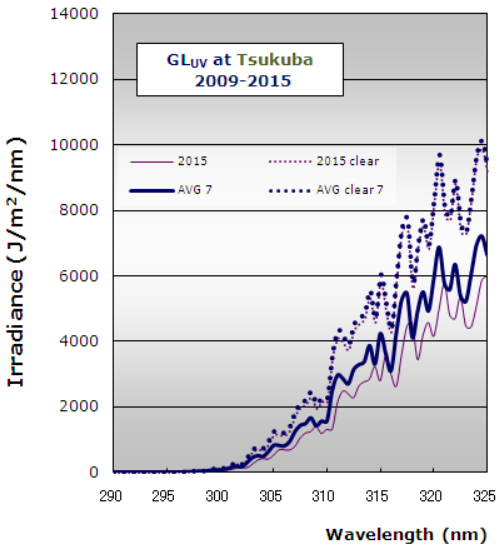
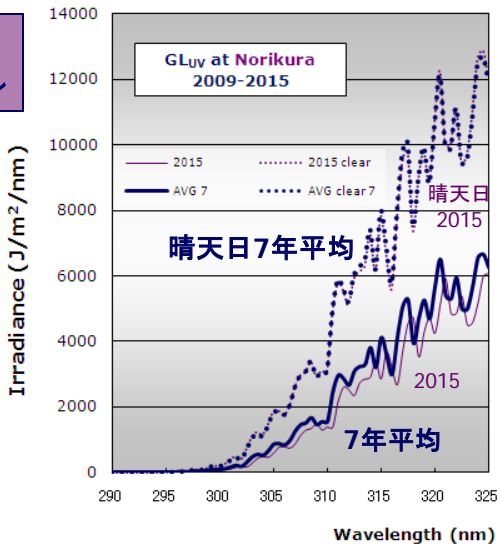


乗鞍

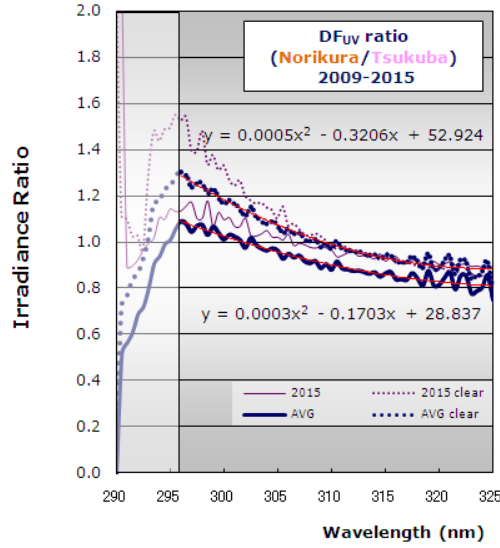
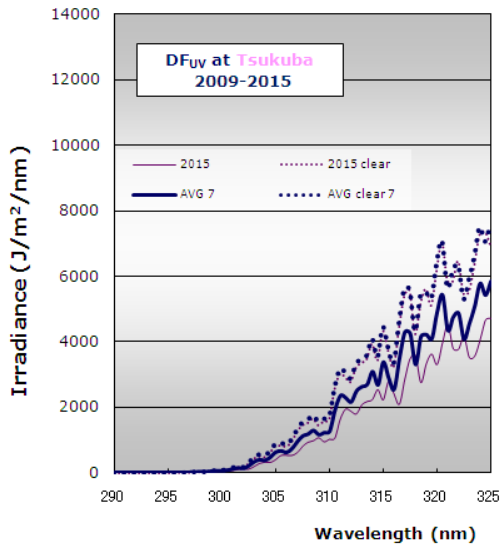
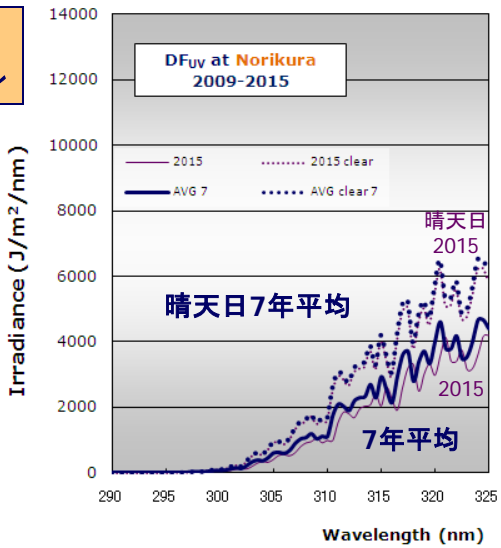
つくば

乗鞍 / つくば

全天UV  
スペクトル

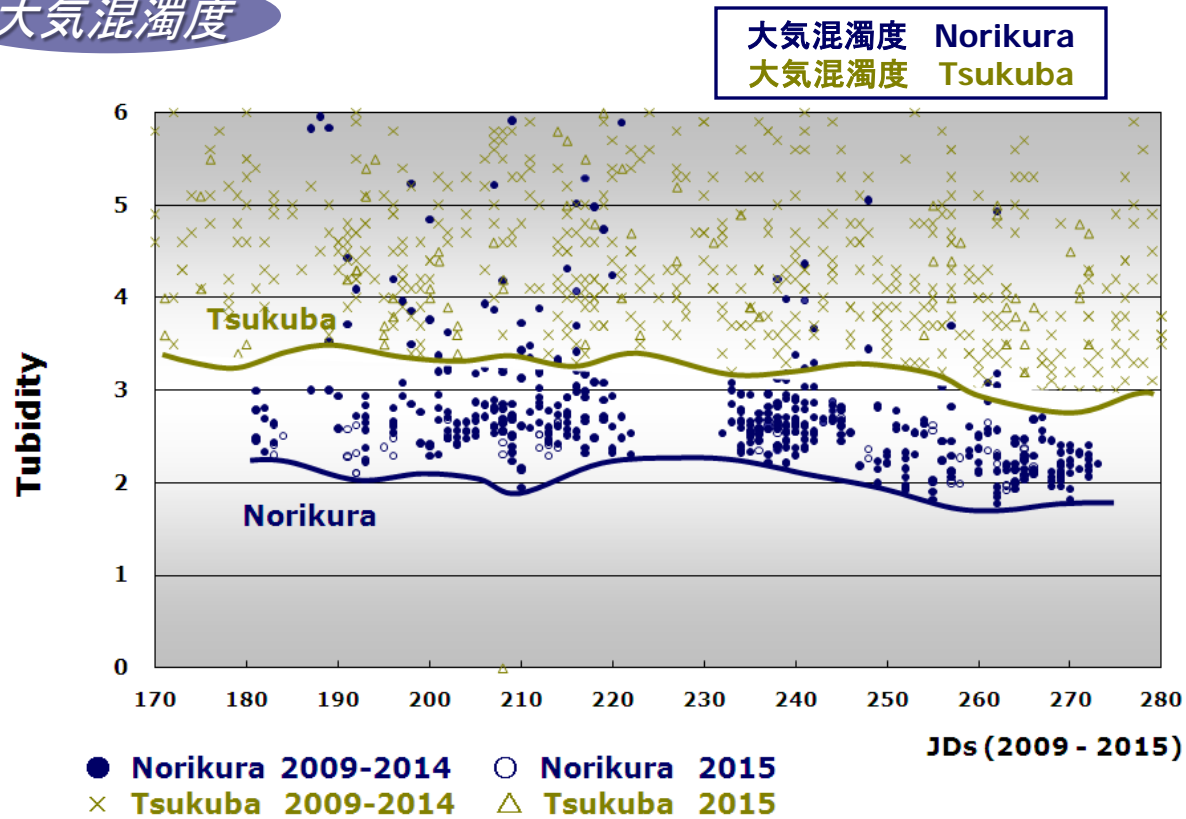


散乱UV  
スペクトル



# 乗鞍における大気混濁度 2009 ~ 2015 年

## 大気混濁度



大気混濁度

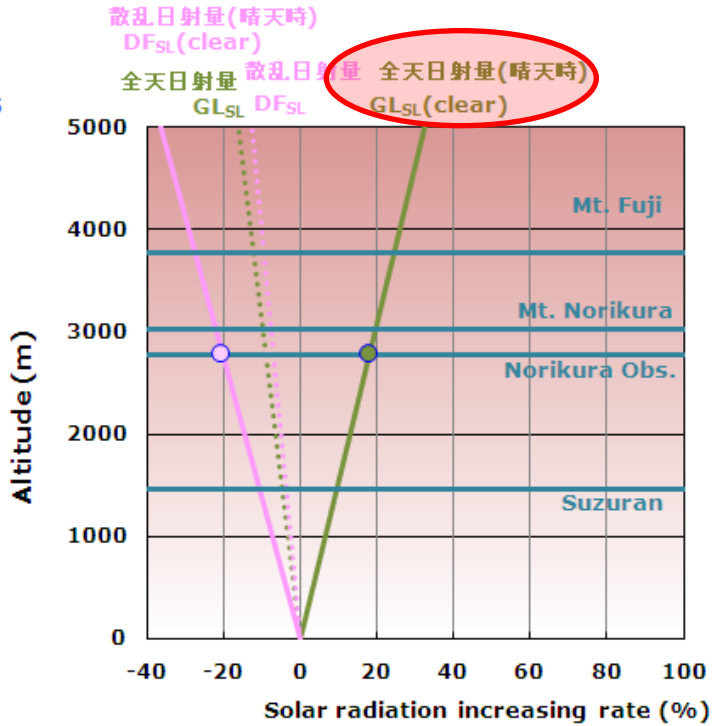
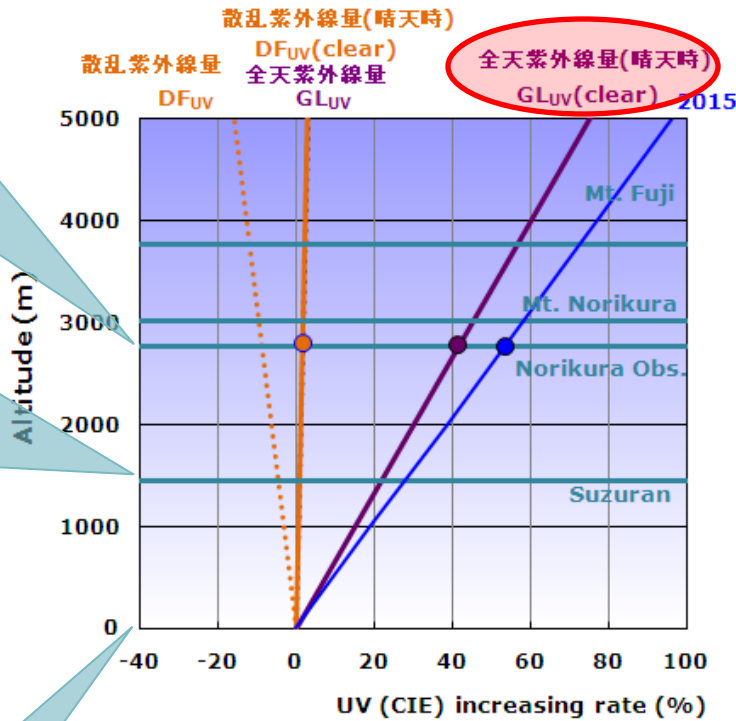


つくばの冬季、  
南極昭和  
とほぼ同じ

# 高度に対する紫外線量・日射量の増加率 (2009 ~ 2015年)

## UV (CIE) 増加率

## 日射量 増加率



- GLUV all
- DFUV all
- GLUV clear
- GLUV all clear
- DFUV all clear
- GLSL all
- DFSL all
- GLSL all clear
- DFSL all clear

	UV (CIE) % / 1,000m	Solar Radiation % / 1,000m
GL 7 AVG	0.6	-3.2
GL 7 AVG (clear day)	15.0	5.9
DF 7 AVG	-3.1	-2.5
DF 7 AVG (clear day)	0.6	-8.3

# 2009~2015年の研究成果

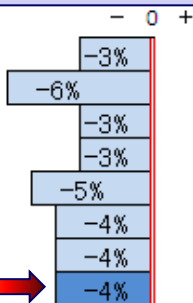
[ ] : 観測日数

## ◆ オゾン全量

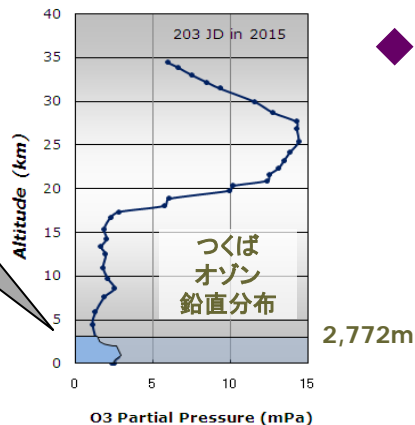
2009年 [16]  
2010年 [30]  
2011年 [75]  
2012年 [62]  
2013年 [70]  
2014年 [63]  
**2015年 [67]**

AVG

### オゾン全量 dsO3



オゾンゾンデ  
観測値と  
ほぼ一致



## ◆ 二酸化硫黄全量

### 二酸化硫黄全量 dsSO2

6年間とも認められない

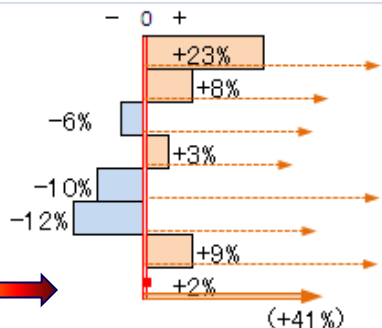
・ 観測用常数校正 ..... **可能 (7年間ほぼ一定)**

## ◆ 紫外線量 (CIE)

2009年 [12]  
2010年 [30]  
2011年 [75]  
2012年 [62]  
2013年 [70]  
2014年 [63]  
**2015年 [67]**

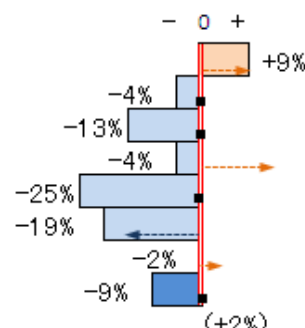
AVG

### 全天紫外線量 GLuv



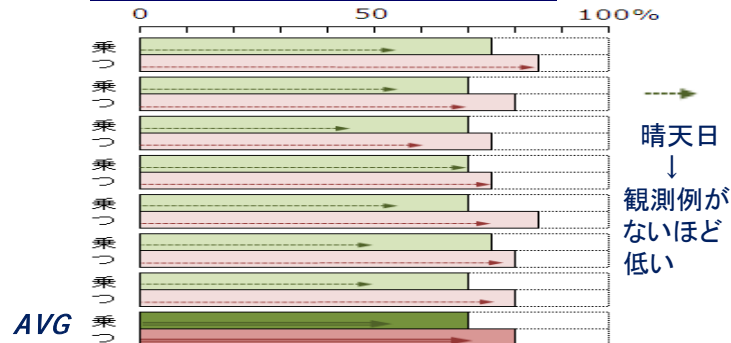
(+41%)

### 散乱紫外線量 DFuv



(+2%)

### 紫外線散乱率 DFuv/GLuv



AVG

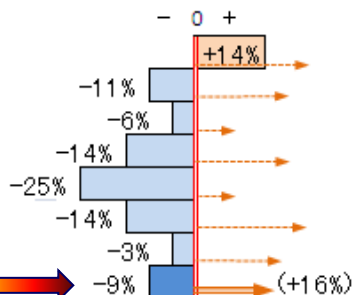
晴天日 : つくば夏至頃の年最大値以上

## ◆ 日射量

2009年 [12]  
2010年 [30]  
2011年 [15]  
2012年 [47]  
2013年 [69]  
2014年 [79]  
**2015年 [73]**

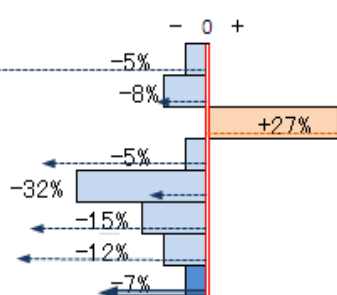
AVG

### 全天日射量 GLsl



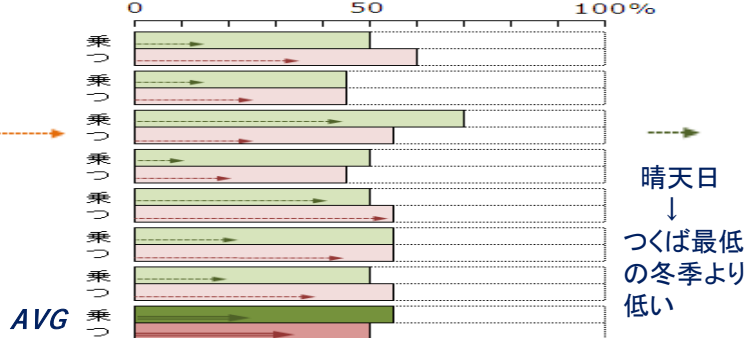
(+16%)

### 散乱日射量 DFsl



(-23%)

### 日射散乱率 DFsl/GLsl



AVG

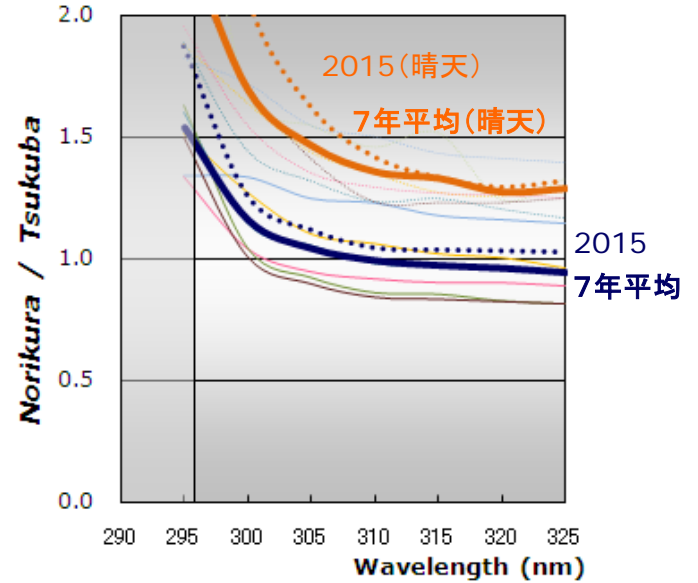
晴天日 : つくば夏至頃の年最大値



◆ 波長別紫外線量 ・ 短波長帯ほど多い

( ): 晴天日

2009年 [12]	例: 300nm +34 (+72)%	325nm +14 (+39)%
2010年 [30]	例: 300nm +27 (+64)%	325nm - 4 (+30)%
2011年 [75]	例: 300nm + 4 (+55)%	325nm -11 (+24)%
2012年 [62]	例: 300nm +15 (+44)%	325nm - 6 (+17)%
2013年 [70]	例: 300nm + 5 (+67)%	325nm -18 (+33)%
2014年 [63]	例: 300nm + 1 (+72)%	325nm -19 (+25)%
2015年 [67]	例: 300nm +26(+109)%	325nm + 3 (+32)%
AVG	例: 300nm +15 (+66)%	325nm - 6 (+28)%



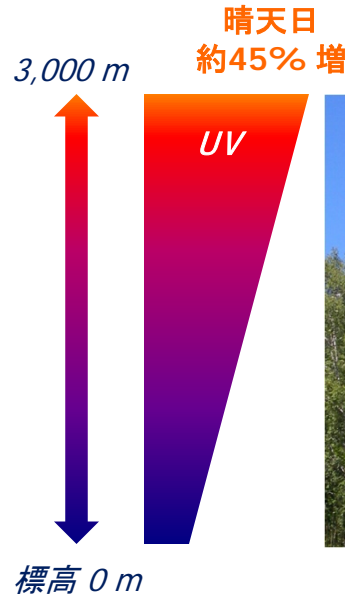
◆ 高度による紫外線増加率 (CIE)

2009年 [12]	+8.5 (+19)% / 1,000 m
2010年 [30]	+3.1 (+14)% / 1,000 m
2011年 [75]	-2.2 (+13)% / 1,000 m
2012年 [62]	+1.0 (+11)% / 1,000 m
2013年 [70]	-3.7 (+19)% / 1,000 m
2014年 [63]	-4.6 (+13)% / 1,000 m
2015年 [67]	+3.2 (+20)% / 1,000 m
AVG	+0.6 (+15)% / 1,000 m

( ): 晴天日

要因

- ・オゾンが少ないこと
- ・エアロゾル等による散乱が少ないこと



## 2009～2015年の研究成果

### ◎ 乗鞍のオゾン・紫外線量

#### 問題点

- 経年変化や季節変化
- 標高に対する精確な $O_3$ 減少率・UV増加率

### ◎ アジア地区校正センターの条件

#### 問題点

- 常数の長期的経年変化
- 絶対検定方法の世界的な統一

## 今後の研究計画

### ① 観測の継続

UV・ $O_3$ ・ $SO_2$ の経年変化  
観測用常数の経年変化

### ③ 詳細なデータ解析

精確な高地UV増加率  
対流圏 $O_3$ の把握  
衛星データとの比較等々

### ② 観測の強化

鈴蘭における観測  
日射領域におけるスペクトル観測

### ④ 世界準器の絶対検定に参加

世界的な絶対検定方法の統一  
校正技術の研究・開発

END