

平成24年11月15日 地球観測連携拠点(温暖化分野)平成24年度ワークショップ

地上での太陽放射エネルギー観測

気象庁 地球環境・海洋部

環境気象管理官付 大河原 望

内容

- 太陽放射エネルギー(日射)の観測
- 気象庁における日射観測の歴史
- 地球環境監視のための日射観測
- 日射の観測基準と日射計の校正
- 日射の長期変動による地球温暖化への影響

太陽放射エネルギー(日射)の観測

太陽放射エネルギー：地球の大気や海洋現象の駆動源。
⇒ 日本では気象庁が古くから継続的な観測を実施。

観測要素

全天日射

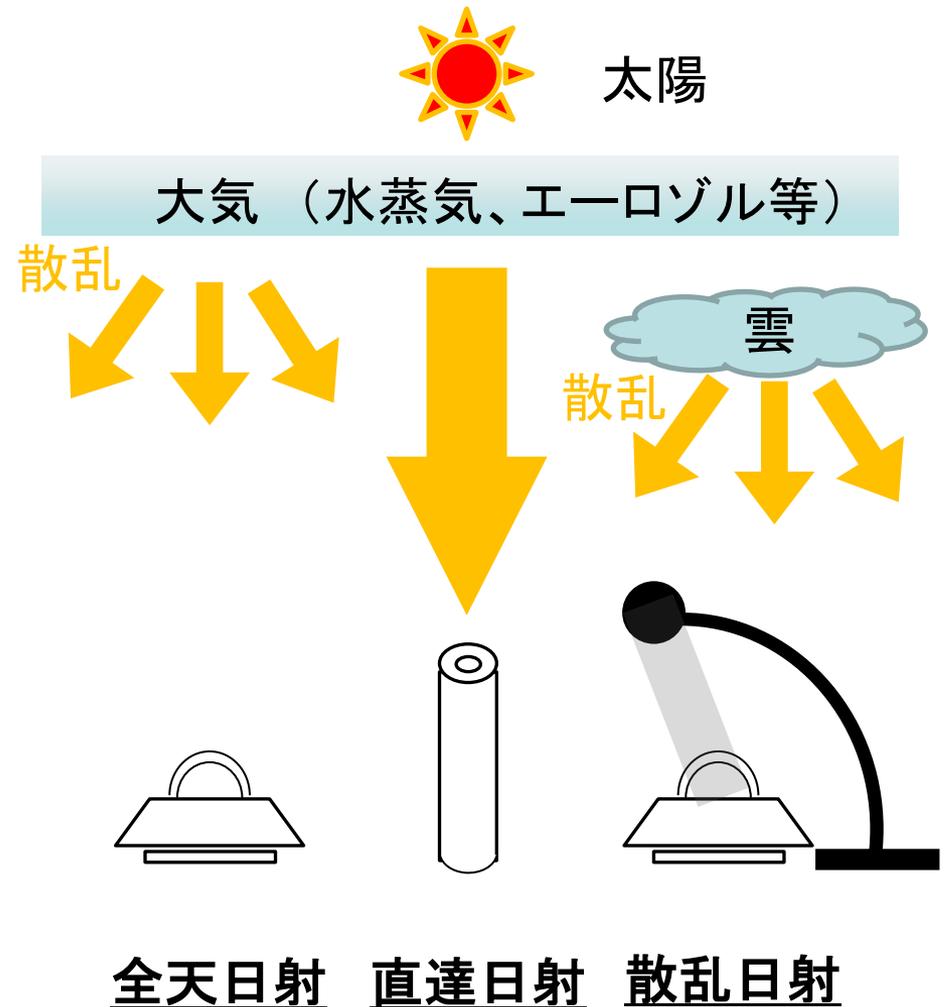
地表面が受け取る全ての太陽放射エネルギー

直達日射

太陽光球面から直接地上に到達する太陽放射エネルギー

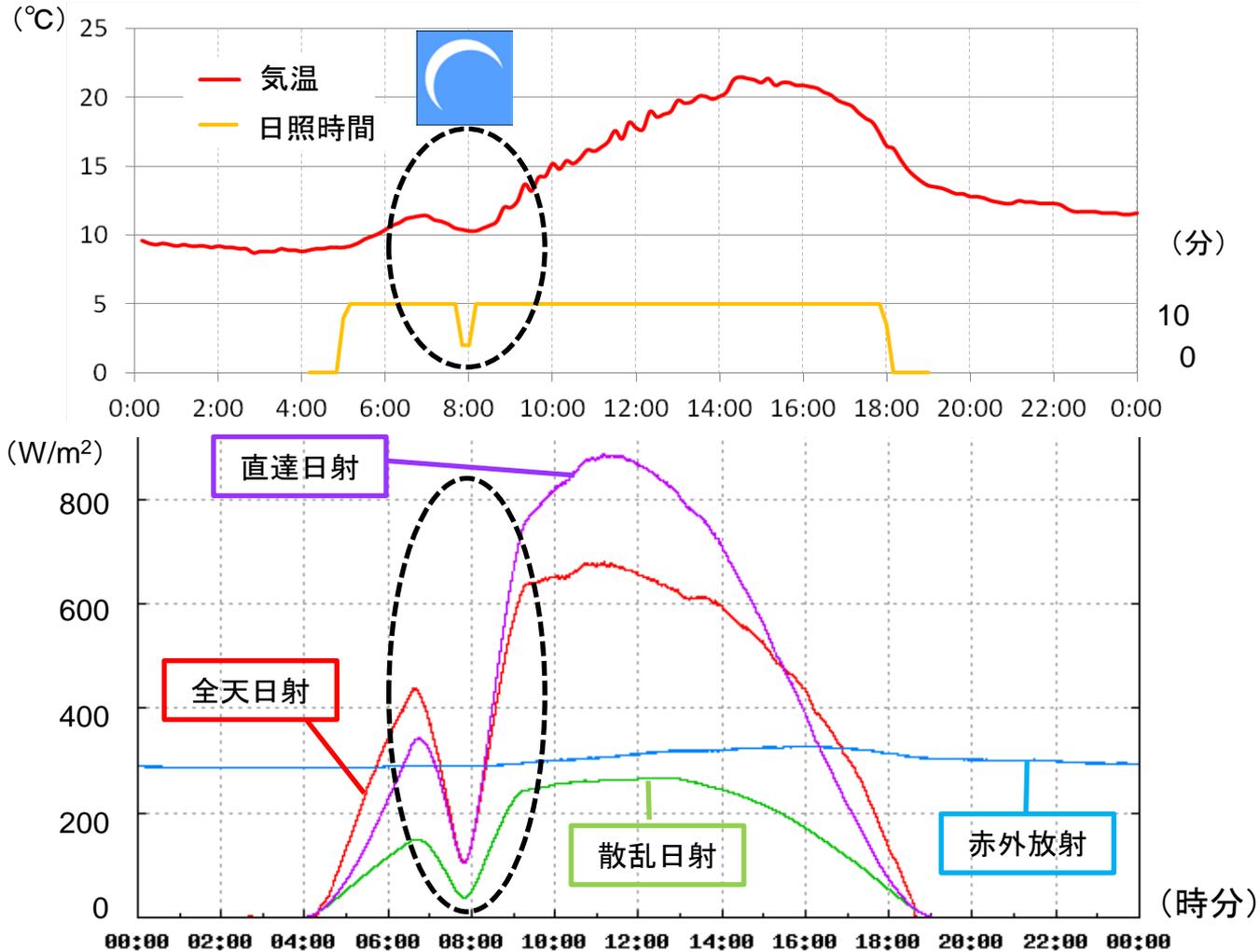
散乱日射

大気成分により散乱・反射して天空の全方向から届く太陽放射エネルギー



全天日射 直達日射 散乱日射

日射が大気現象に影響を与える例



部分日食時の日射と気温との関係(2012年5月21日, 札幌)

気象庁における日射観測の歴史

- 第2回国際極年 (IPY; International Polar Year, 1932年) を契機に開始
(全天日射: 1931-
直達日射: 1932-)
- 観測地点数は、時代により増減
(戦時中に最大)
- 使用測器や日射観測基準も
時代により変遷

1932年 8月 15日 時 日射月報 観測地: 福岡気象

1932 II 2.5, 9 33 25, 23 23 器 械: 7511

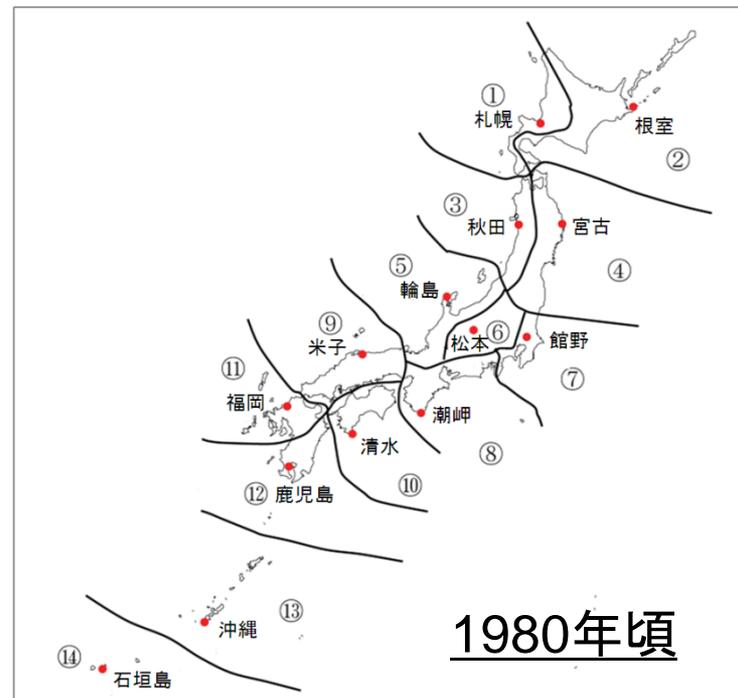
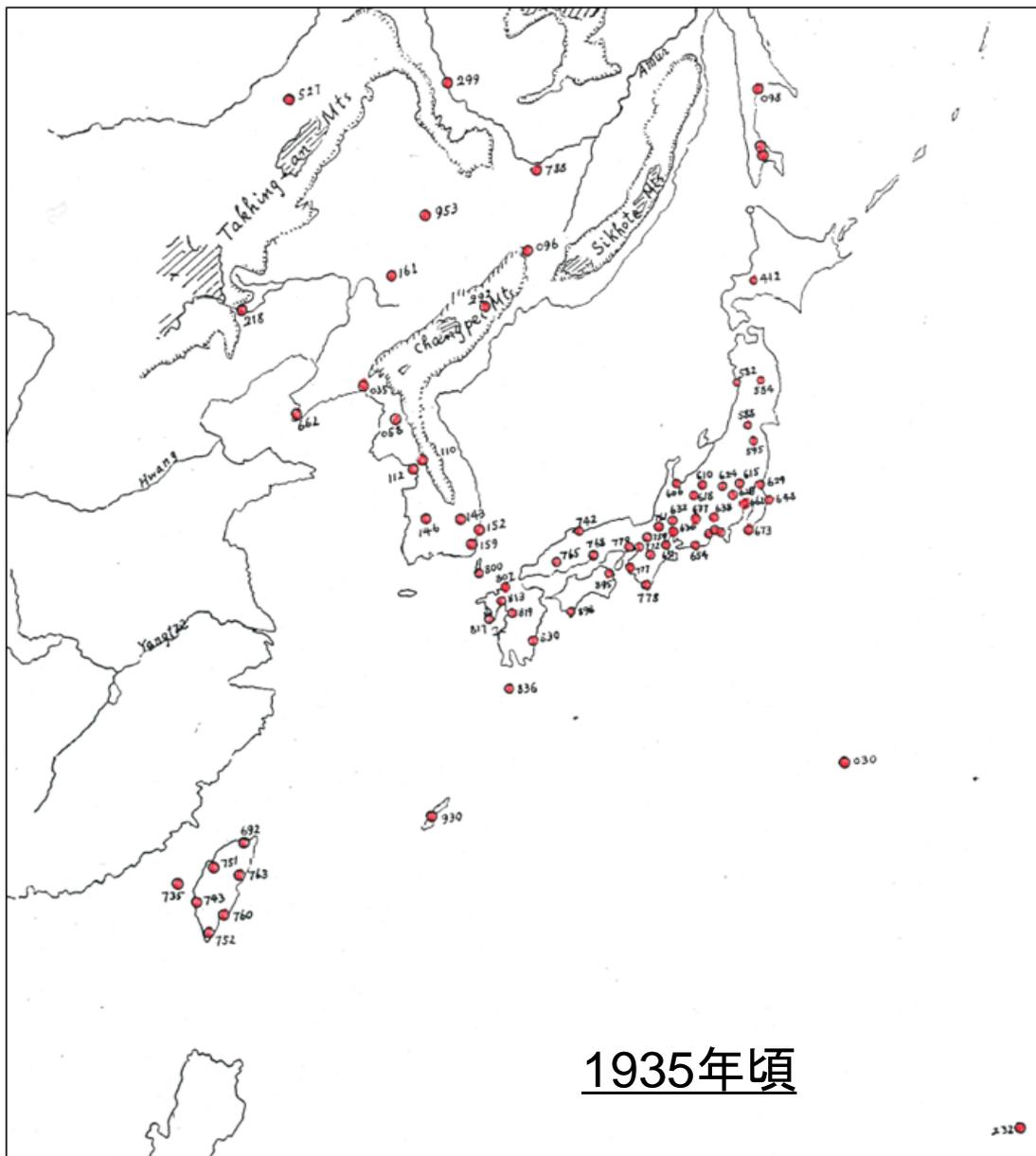
日	時分	日射量 (1)	大気路程 (900 Z)	I, I ₁	透過率 (I)	主雲形	總雲量	側面近雲状況	天色 (六階三階)	煙霧 (三階)	遠霧 (三階)	風向	風力 (六階推定)	湿度	気温	
1	14 48	1.148	1.22	0.605	0.65	KV	7	C	青	—	—	W/W	1	61	26.7	
5	14 42	1.254	1.20	0.665	0.74	KV	2	—	青	—	—	N/W	3	73	30.2	
7	15 04	1.283	1.40	0.627	0.76	CK	7	CK	青	—	—	E	1	87	24.1	
10	14 25	1.171	1.26	0.620	0.68	C	4	C	青	—	—	E	3	67	22.0	
14	14 28	1.273	1.28	0.676	0.74	K	1	—	青	—	—	ENE	2	60	22.5	
21	14 45	1.276	1.25	0.633	0.76	KV	2	—	青	—	—	ENE	2	62	23.5	
26	14 45	1.207	1.41	0.617	0.73	K	2	—	青	—	—	N	3	74	22.5	
28	14 23	0.855	1.25	0.523	0.60	KV	2	—	青	—	—	N/W	2	58	24.5	
29	15 02	1.247	1.50	0.657	0.76	KV	1	—	青	—	—	E	2	52	22.2	
30	14 47	1.127	1.43	0.595	0.70	K	4	—	青	—	—	S/W	1	52	22.5	
平均	14 45	1.198	1.36	0.633	0.72		3							2	65	24.3
日		1.195	1.38	0.629	0.719		(7)									

中央気象台

注意: (1) 地方風太陽時へ気象常用表へ法へ依つて求め。 (2) sec Z, I, 及び透過率へ計へ誤差を法へ依つて求め。 (3) 太陽高度/雲影へ雲影 (記録) 雲塊/大小ヲ測定時記入。 (4) 天色・煙霧・遠霧へ便宜推定へ依り且・中・不良又へ儀・中・波等ノ區別ヲ記ス。 (5) 湿度・気温へ自記ヨリ採ル。 (6) 日射量へ算出値ノ平均ヲ記シ、時刻へ全日観測ノ平均ヲ記ス。 (7) 記事へ時間時中ノ主點へ着目シテ記ス。 (8) 本報告へ一日各同ノ時刻別へ對照トス。 (9) 期限へ翌月十五日トシ、各時ノ平均日射量ヲ速報スルコト。

直達日射観測の記録(1932年8月, 福岡)

観測地点数の変遷(直達日射観測)



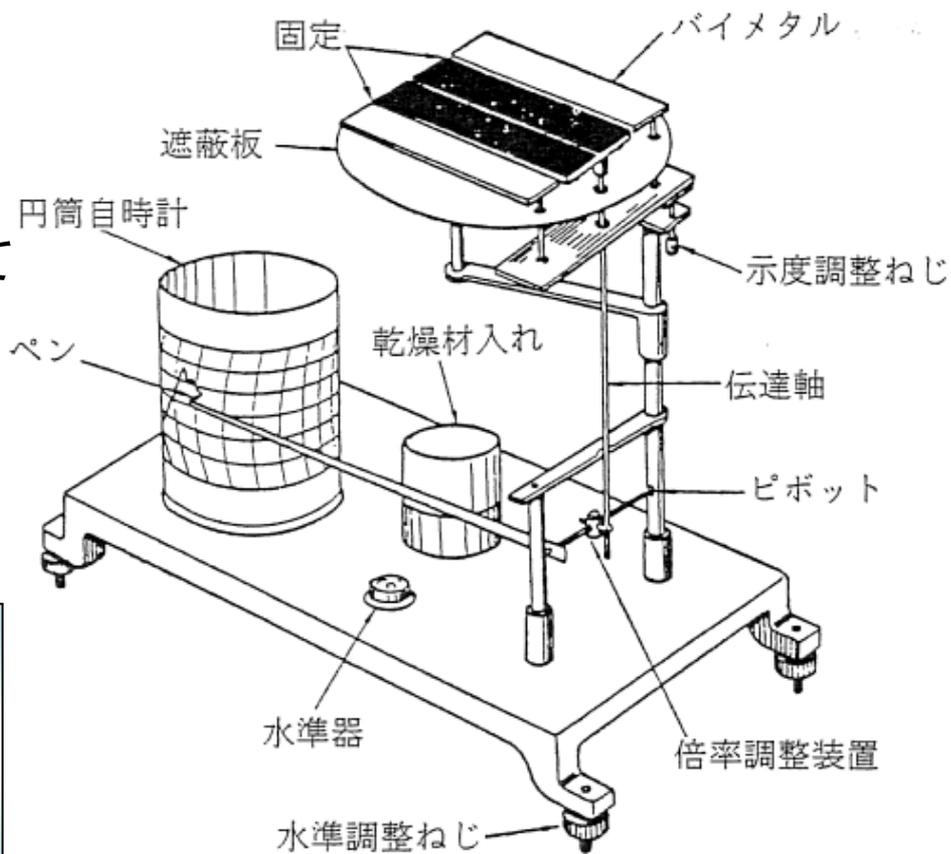
使用測器の変遷(全天日射観測)

バイメタル式全天日射計

【1931年～1971年】

黒色及び白色塗装面で構成されるバイメタルの歪みを機械に拡大して記録紙上に記録。

後述の熱電堆式全天日射計との比較により、特性及び精度に系統的な差があったことが判明。
⇒ データ利用時には注意が必要

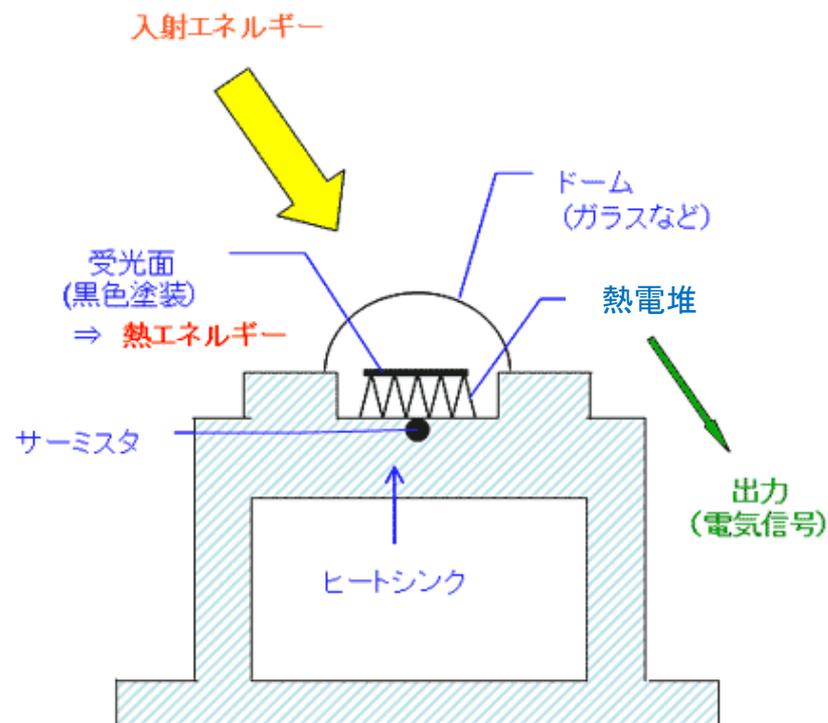
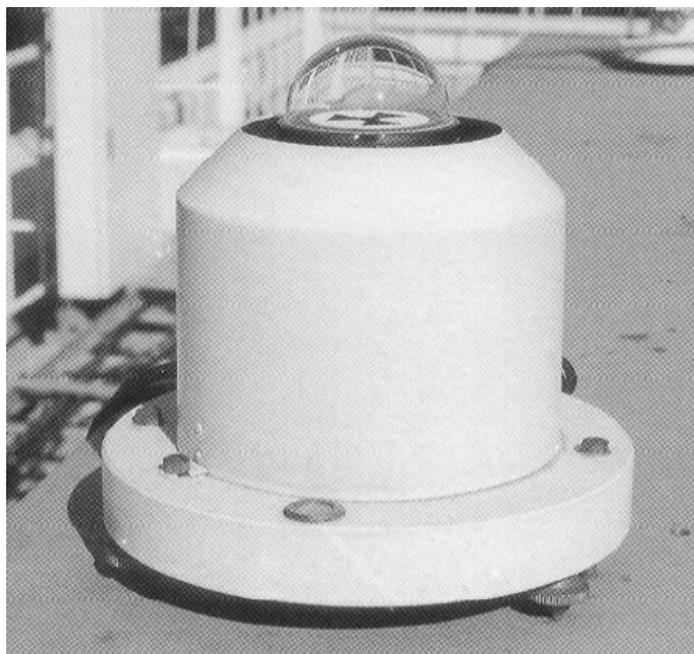


使用測器の変遷(全天日射観測)

熱電堆式(エプリー式)全天日射計

【1971年～現在】

日射を熱に変換し、さらに熱電堆を用いて電気信号に変換して測定。
直達光を遮蔽することにより、散乱日射の観測にも使用。



使用測器の変遷(直達日射観測)

銀盤式直達日射計

【1932年～1977年】

日射を銀盤に当て、一定時間後の銀盤の温度変化量から日射量を測定。

$$I = C/A \times t \times (T_1 - T_0)$$

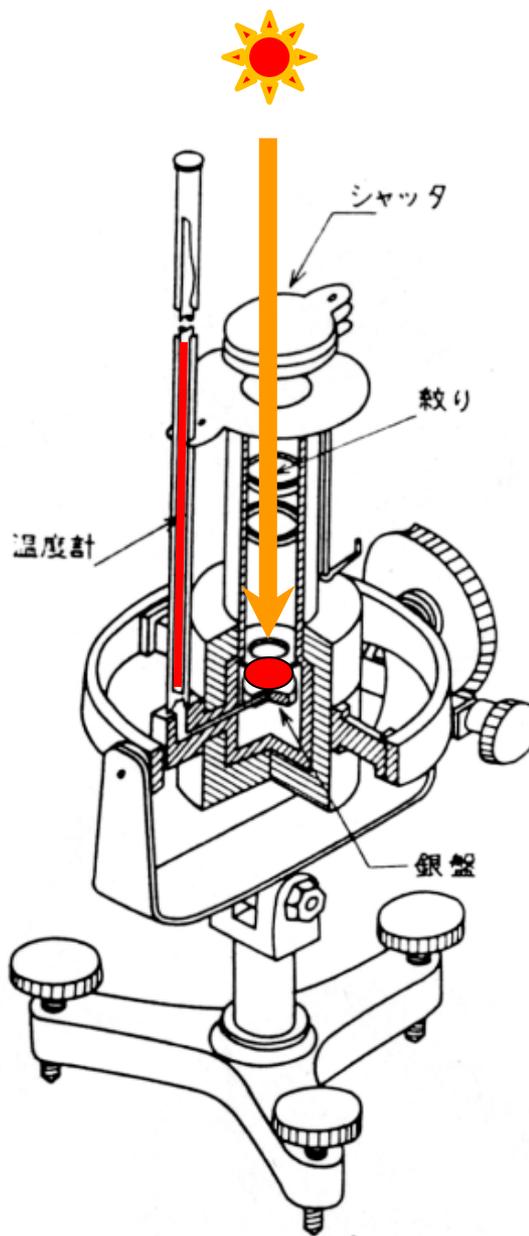
I: 日射量 C: 銀盤の熱容量

A: 銀盤の表面積

t: 日射を当てている時間

T_0 : 日射を当てる前の銀盤温度

T_1 : t時間後の銀盤温度

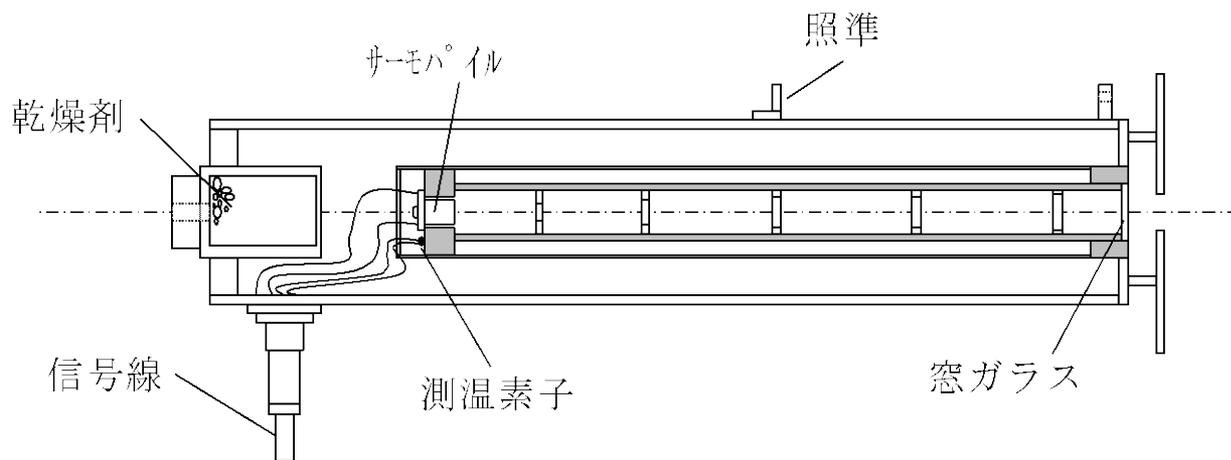
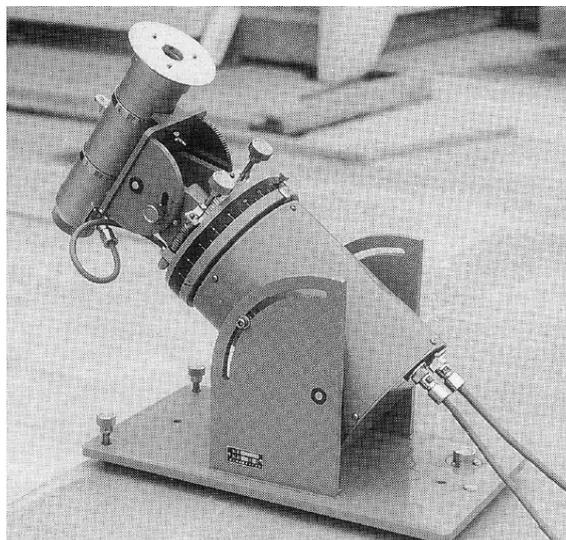
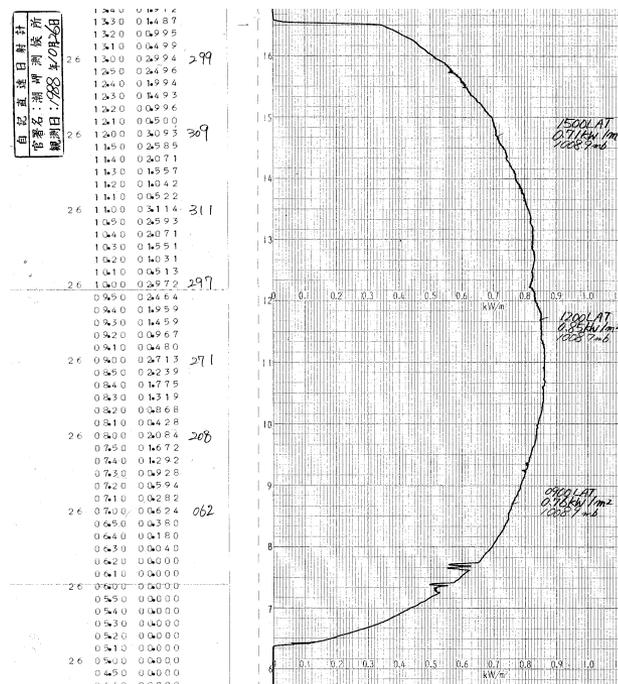


使用測器の変遷(直達日射観測)

電気式直達日射計(自記直達日射計)

【1978年～1991年】(連続観測の開始)

日射を熱に変換し、温度の上昇分を
電圧に変換して自記紙に記録。



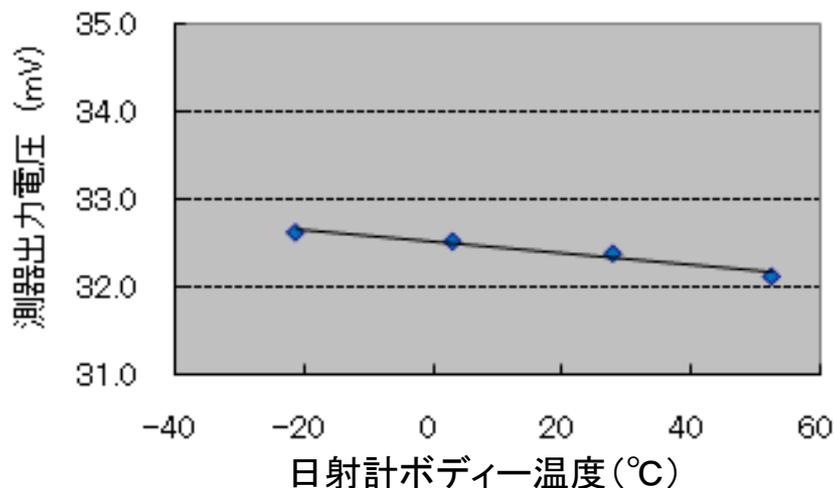
使用測器の変遷(直達日射観測)

電気式直達日射計(温度センサー内臓)

【1992年～現在】(高精度化)

内蔵した温度センサーにより、日射と同時に日射計の筐体温度を測定。

⇒ 測器出力電圧の温度特性を補正することにより、高精度な観測が可能。



地球環境監視のための日射観測

精密な日射放射観測の開始

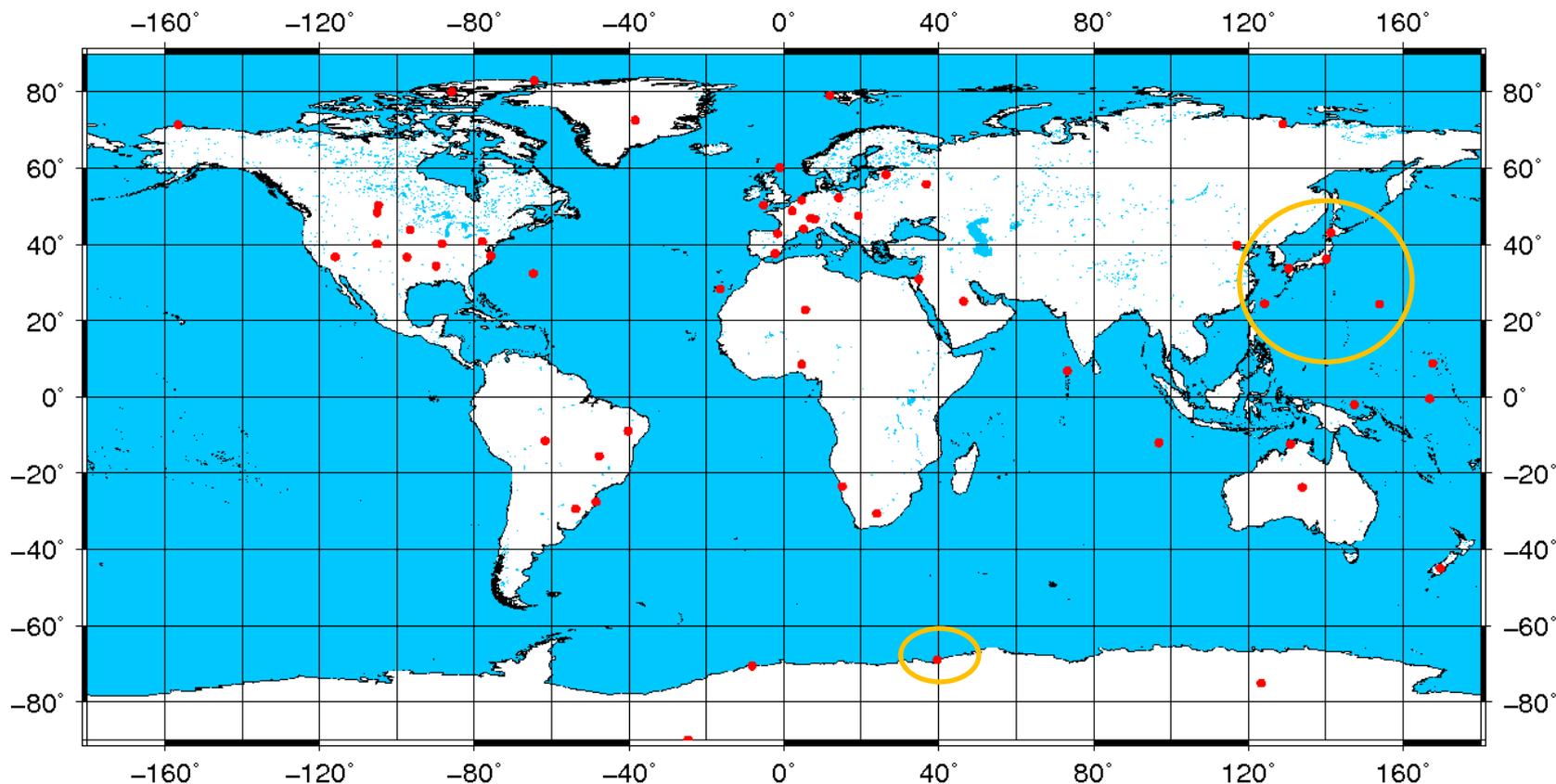
- 近年社会的な必要性が高まった地球温暖化等、全球的な地球環境変化監視のため、高精度な日射観測を2010年3月より開始。
- 国際的な気候監視のための地上放射観測網(BSRN: Baseline Surface Radiation Network)の観測地点として登録。
⇒ 観測データは、BSRN世界放射モニタリングセンター(WRMC)を通じて研究者に無償で提供。

URL: <http://www.bsrn.awi.de/>

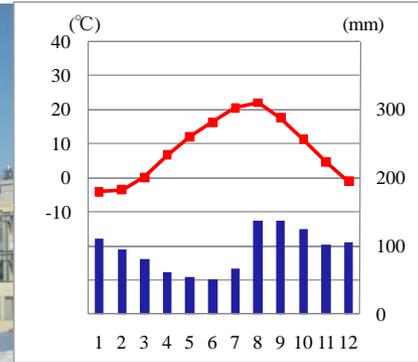
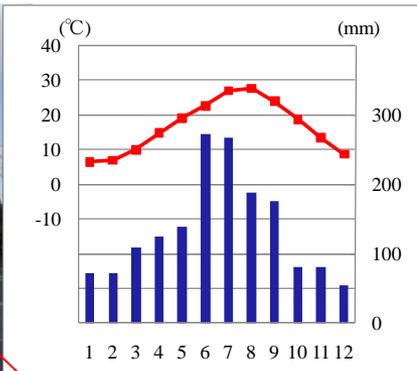
- 観測精度: BSRNの要求精度に準拠 (実現可能な最高精度の観測)
 - ✓ 直達日射: 0.5%または 1.5W/m^2
 - ✓ 散乱日射: 2%または 3W/m^2
 - ✓ 全天日射: 2%または 5W/m^2
 - ✓ 下向き赤外放射: 2%または 3W/m^2
- 散乱日射、下向き赤外放射も定常観測に

基準地上放射観測網 (Baseline Surface Radiation Network)

Running and planned BSRN stations, September 2012

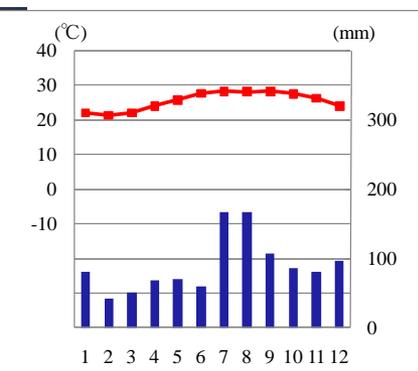
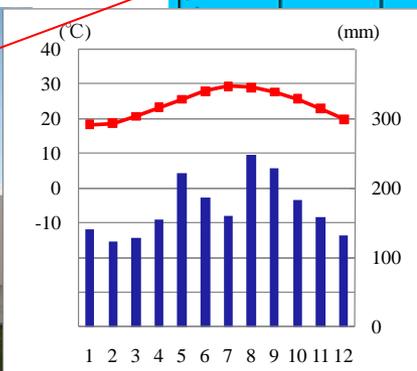
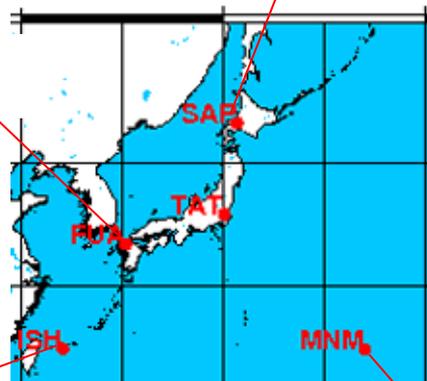


- 全球気候観測システム(GCOS) および世界気候研究計画 (WCRP) の地上放射観測網。
 - 全世界で約50の観測地点の内、気象庁は6地点(札幌、つくば、福岡、石垣島、南鳥島、南極昭和基地)を運用。
- 特にアジア、北西太平洋地域における観測網の充実に貢献



福岡: 温暖湿潤気候 (Cfa)

札幌: 湿潤大陸性気候 (Dfb)



石垣島: 熱帯雨林気候 (Af)

南鳥島: サバナ気候 (Aw)

国内BSRN観測4地点の気候学的な特徴



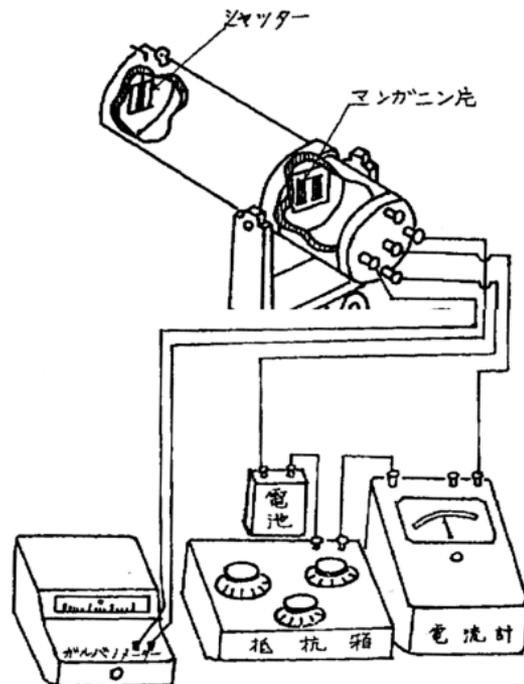
精密な日射放射観測装置の感部（つくば）

日射の観測基準と日射計の校正

国際的な日射観測基準の変遷

① オングストローム日射スケール (Ångström scale 1905)

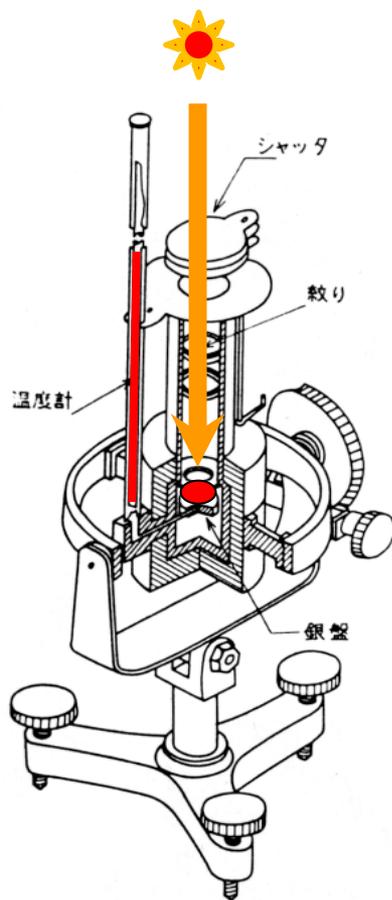
- 国際気象会議 (Innsbruck, 1905) において承認された日射観測の最初の基準
- 基準器: オングストローム直達日射計 (電気補償式直達日射計)



国際的な日射観測基準の変遷

② スミソニアン日射スケール (Smithsonian scale 1913)

- 1913年に米国スミソニアン天体物理観測所において確立
- 基準器： 流水式直達日射計、銀盤式直達日射計



国際的な日射観測基準の変遷

問題点： 前述の2つの日射スケールには、系統的な差(3.5%)が存在することが判明



③ 国際日射スケール (IPS-1956: International Pyrheliometer Scale 1956)

- 世界放射会議(Davos, 1956)において承認(1957より採用)
- 5年に一度、国際日射計比較 (IPC: International Pyrheliometer Comparison) を実施することを決定
- 基準器： オングストローム日射計 +1.5%
銀盤式直達日射計 -2.0%

$$\begin{aligned} \text{IPS-1956} &= \text{Ångström scale 1905} \times 1.015 \\ &= \text{Smithsonian scale 1913} \times 0.98 \end{aligned}$$

国際的な日射観測基準の変遷

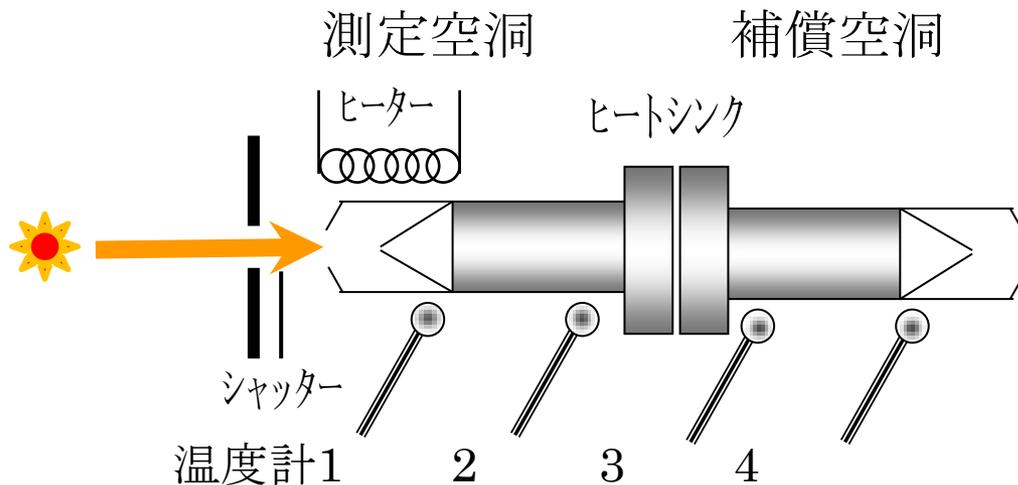
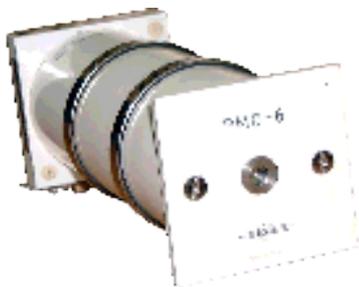
④ 世界放射基準 (WRR: World Radiometric Reference)

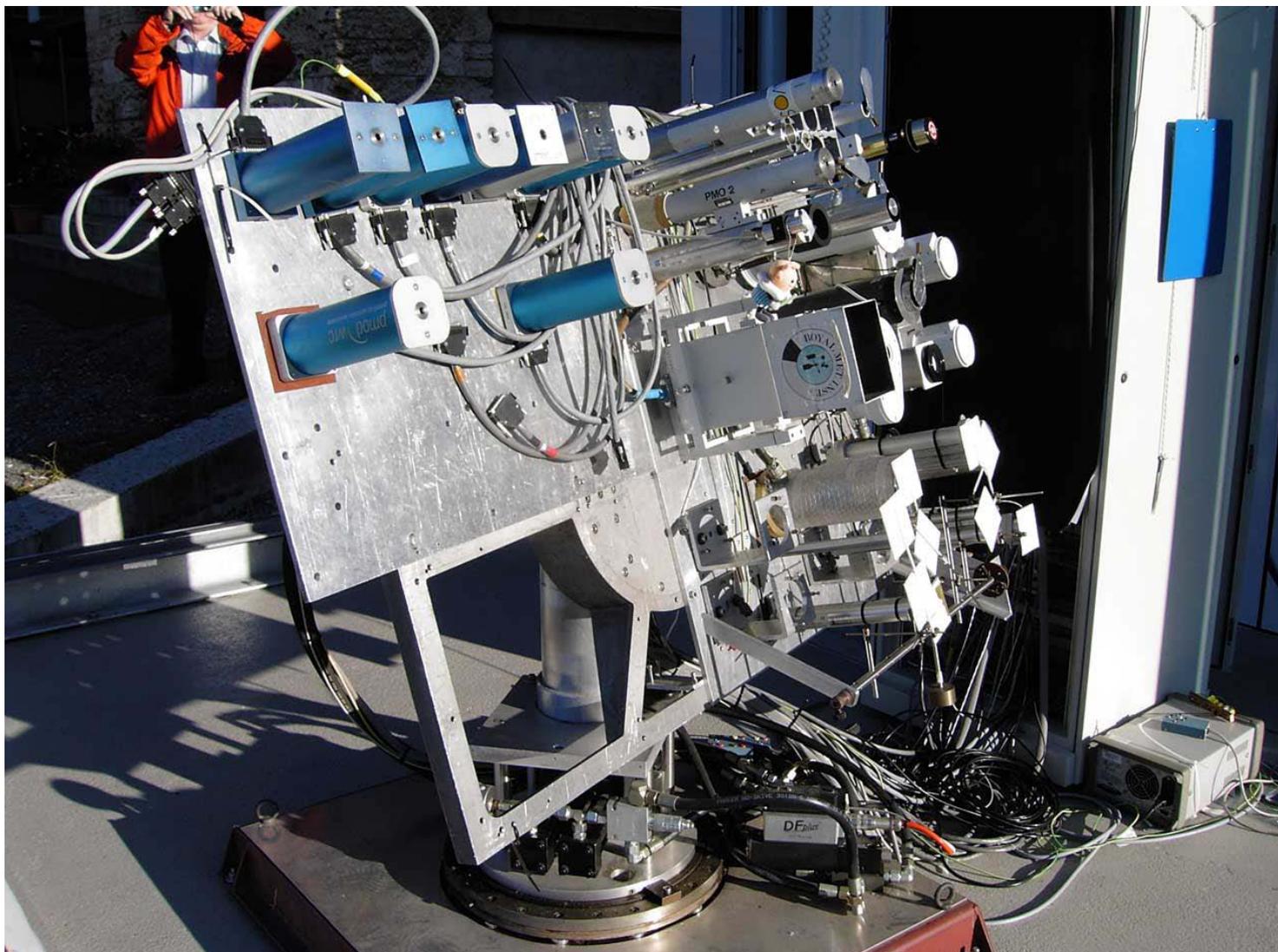
- 1977年に確立(安定した複数台の絶対放射計の平均値)
- 基準器: 絶対放射計 ⇒ SI単位系で表記【W/m²】
- 1981年から世界気象機関(WMO)の日射観測基準として採用
- 気象分野のみならず、エネルギー分野も含めた全ての日射観測の基準

$$\text{WRR} = 1.022 \times \text{IPS-1956}$$

【絶対放射計】

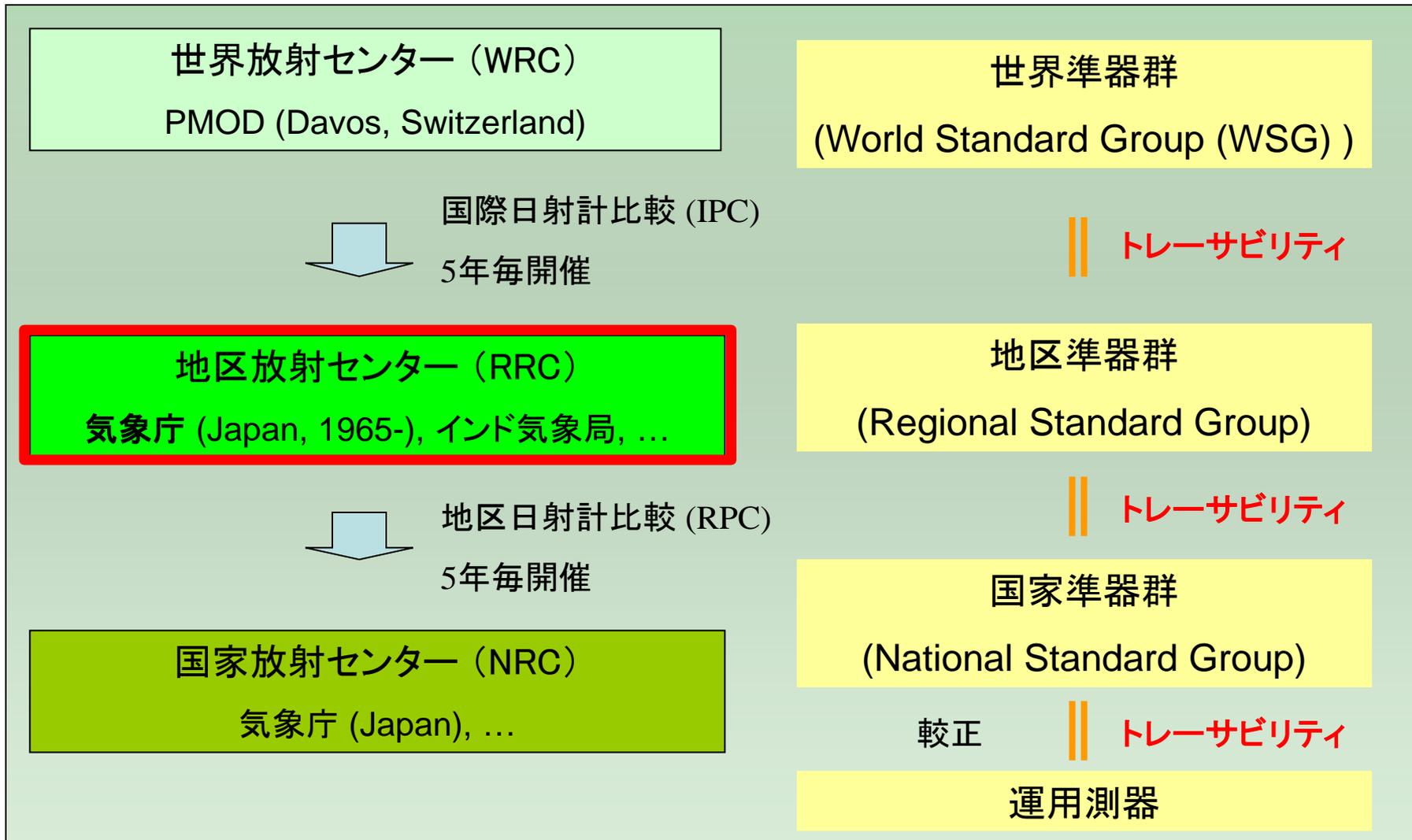
あらゆる誤差要因を理論的・実験的に評価してあるため、単体で日射を絶対測定できる。





WMO世界放射センター(スイス・ダボス)の世界準器群(WSG: World Standard Group)

WMOの枠組みにおける日射計の較正体系



WMOの枠組みにおける日射計較正体系の概念図

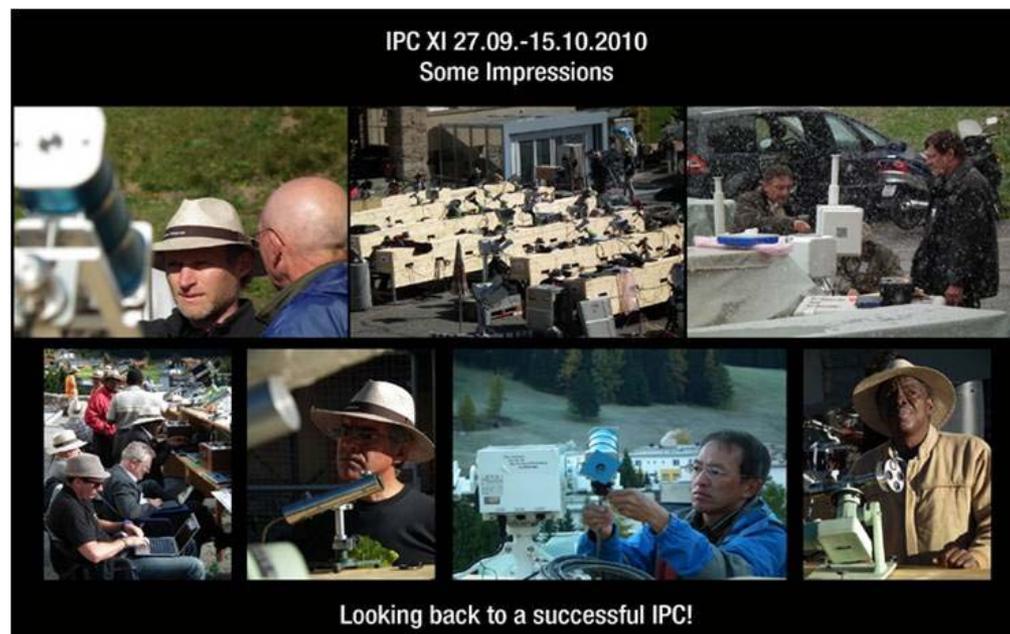
国際日射計比較 (IPC, 於ダボス物理気象観測所;PMOD)



第10回国際日射計比較(2010)

第3回国際日射計比較(1970)

これ以降、気象庁は毎回参加



気象庁における日射観測基準の変遷

期間	観測基準	WRRへの変換係数
1932-	Smithsonian scale (気象庁版) (Ångström scale 1905 x1.035)	1.026 / 1.035 = 0.9913
1957- 1970	IPS-1956 (気象庁版) (Ångström scale 1905 x1.035x0.98)	1.026 / (1.035x0.98) = 1.012
1971- 1977	IPS-1956	1.022
1978- 1980	IPS-1956	1.022
1981-	WRR	1.000

- 1971年以降は、国際日射計比較において世界準器との相互比較観測により国際的な観測基準を伝達された国内準器を使用。
- 1970年までは、校正済のオングストローム直達日射計を輸入し、基準器として用いた。

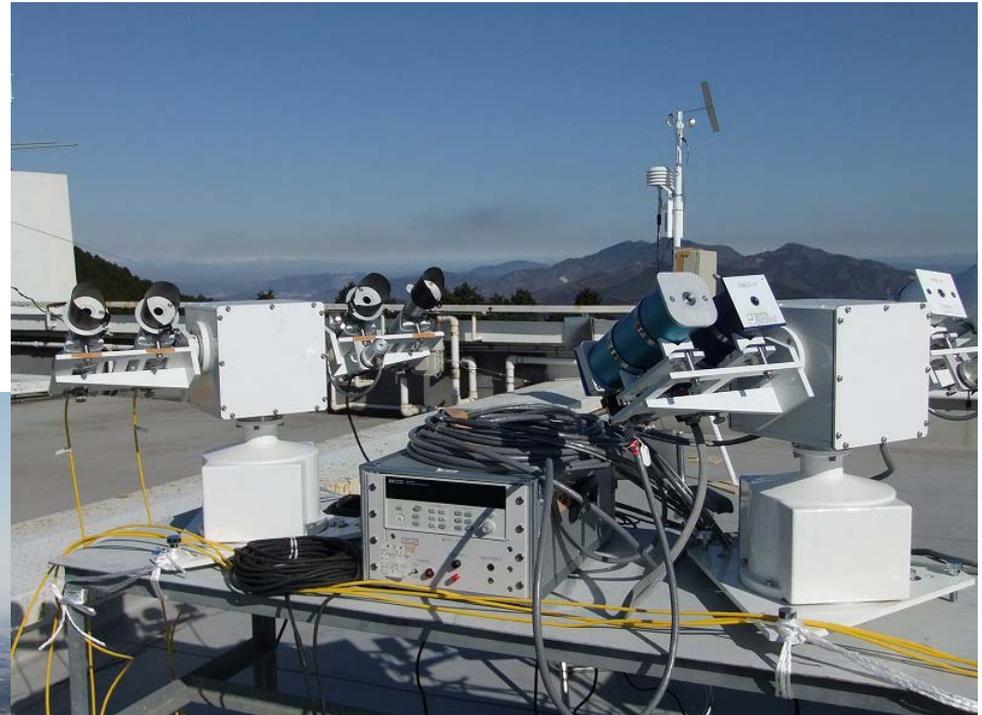
国内での日射計の校正

年に一度、筑波山において
定期的な校正を実施。

全天日射計(準器)の校正



直達日射計の校正

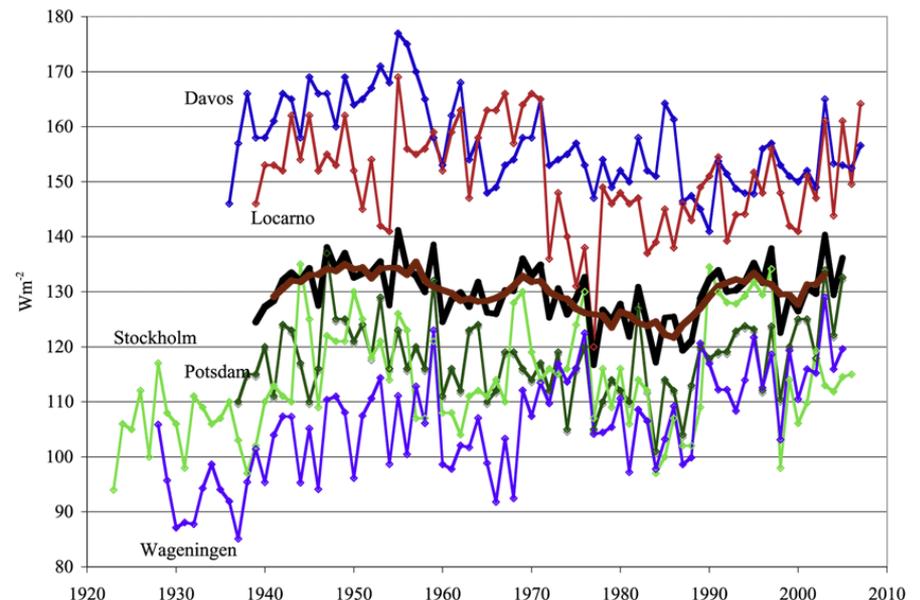
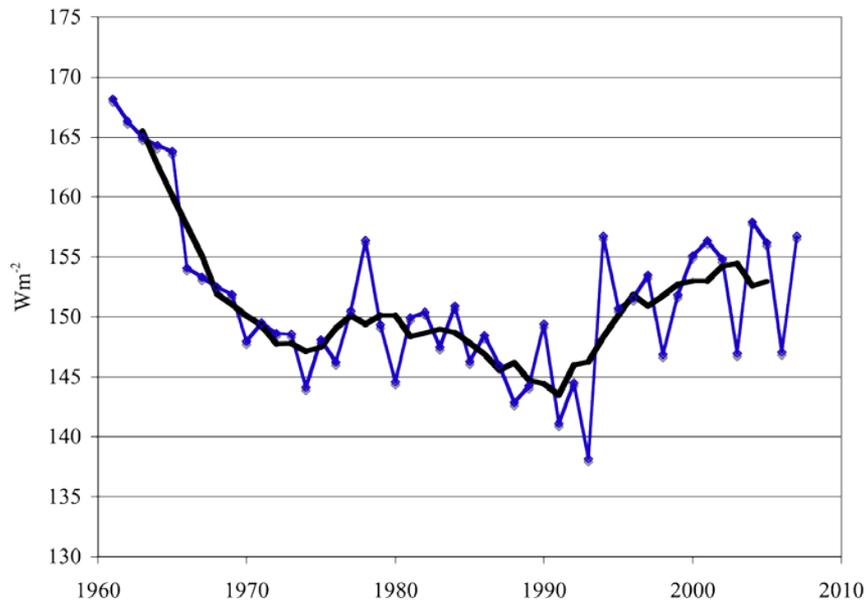


日射の長期変動による地球温暖化への影響

全天日射の長期変動

太陽活動の変動では説明できない全球的な大きな長期変動。

- 1960年代初めから1980年代おわり頃まで： 減少
- 1990年から2000年代初め頃まで： 増加

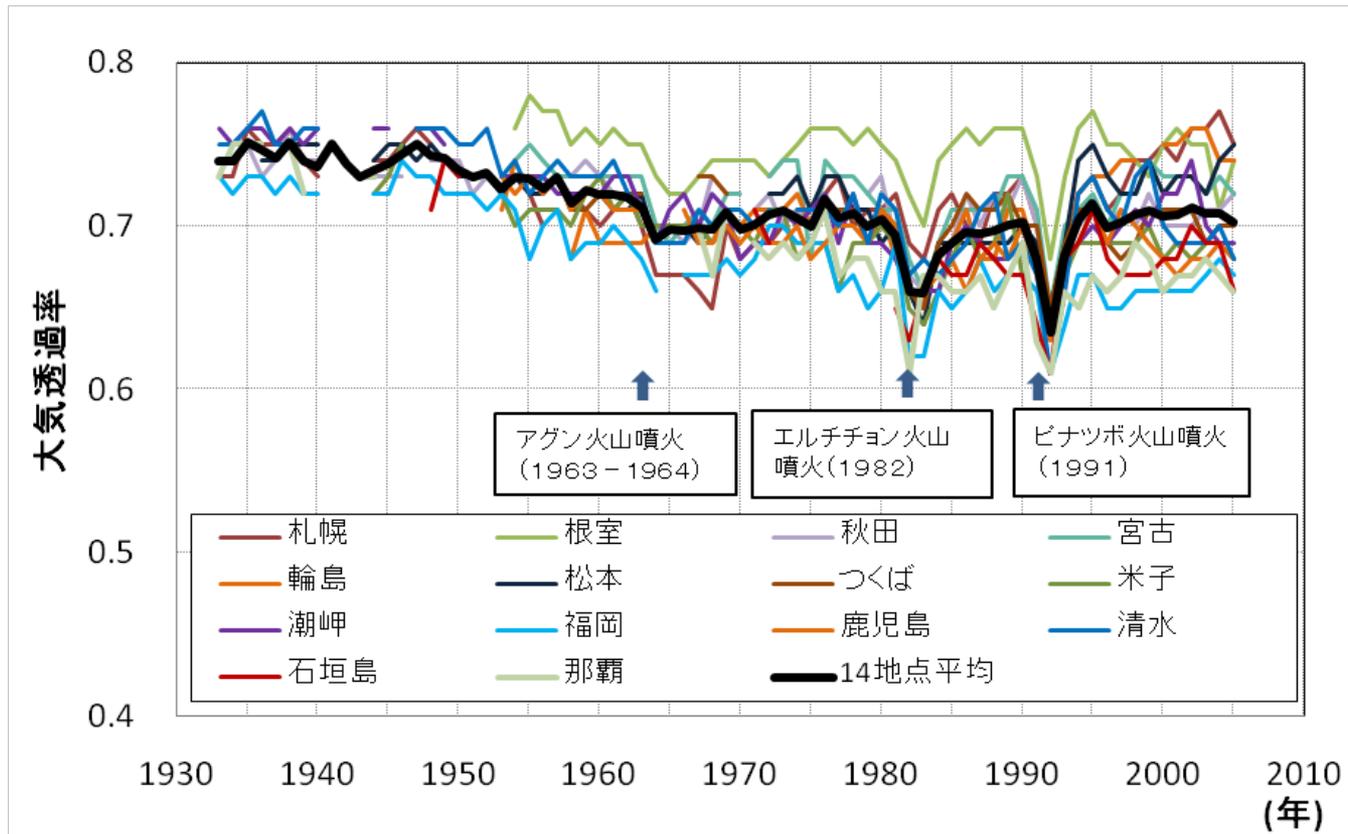


全天日射量の長期変動（年平均および5年平均、

左：日本40地点の平均，右：ヨーロッパ5地点の平均【Ohmura, 2009】）

大気透過率の長期変動

全天日射の長期変動に対応して、大気透過率(大気の濁り具合)も変動。
⇒ 大気中のエアロゾルの変動により、全天日射量が変動。
(この間、水蒸気量には大きな変動なし)



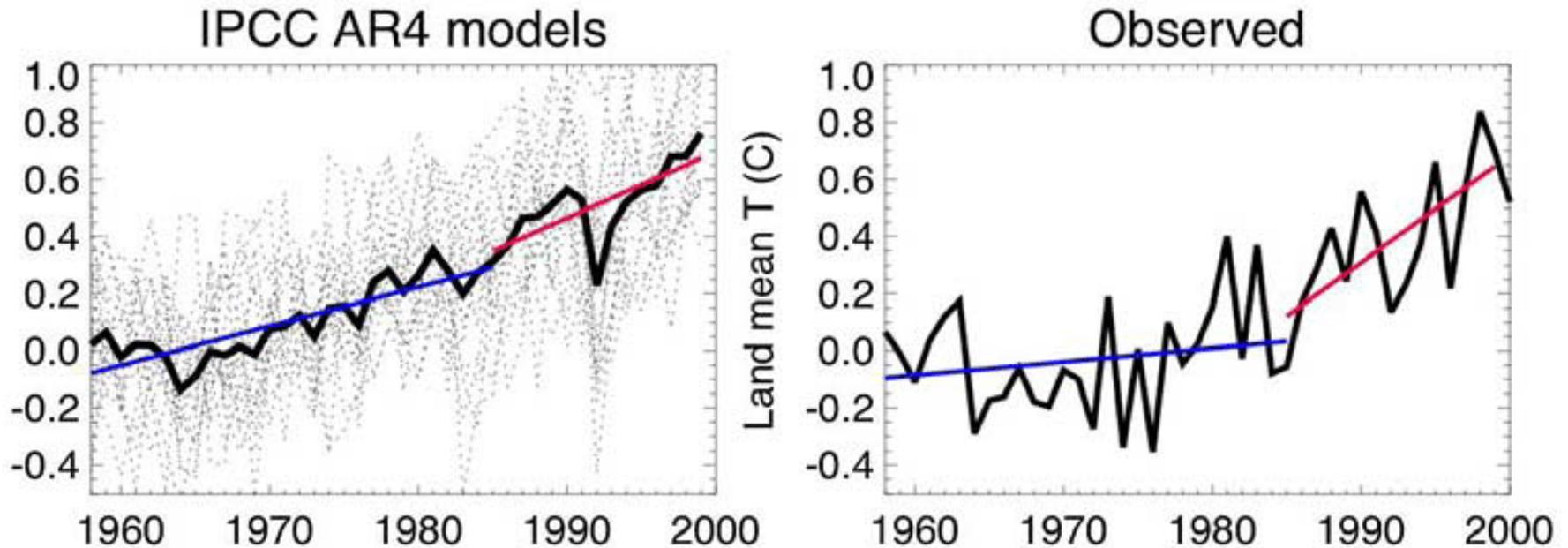
日本における大気透過率の長期変動

(年平均値, 14地点の直達日射データから算出)

地球温暖化予測モデルによる地上気温の予測

観測データによる実測値と比べて気温上昇率の違いがある。

⇒ 前述の全天日射の長期変動に対応（温暖化予測モデルの不確かさ）



全球の陸上気温の20世紀平均気温からの偏差（左: IPCC第4次評価報告書で使用されたGCMの平均、右: 観測データから求めた値【Wild, 2009】）

まとめ

- 太陽放射エネルギー(日射)は、地球の大気や海洋現象を駆動するエネルギー源であり、またその長期的な変動は気候変動の要因となる。
- 気象庁は、1930年代の初めから、長期にわたり国際的な日射観測基準に基づいた日射観測を実施している。
- 2010年からは、地球温暖化等の地球環境変化の監視を目的とした精密な日射放射観測を開始し、GCOSおよびWCRPのBSRN観測点として全球的な地上放射観測網の充実に貢献している。
- 温暖化予測の精度向上や、太陽放射に関する科学的知見の蓄積等のため、長期にわたる高精度な日射観測は重要。