気象計測と計測機器

植山　雅仁

温度とはなにか？

物質を構成する分子運動のエネルギーの統計値

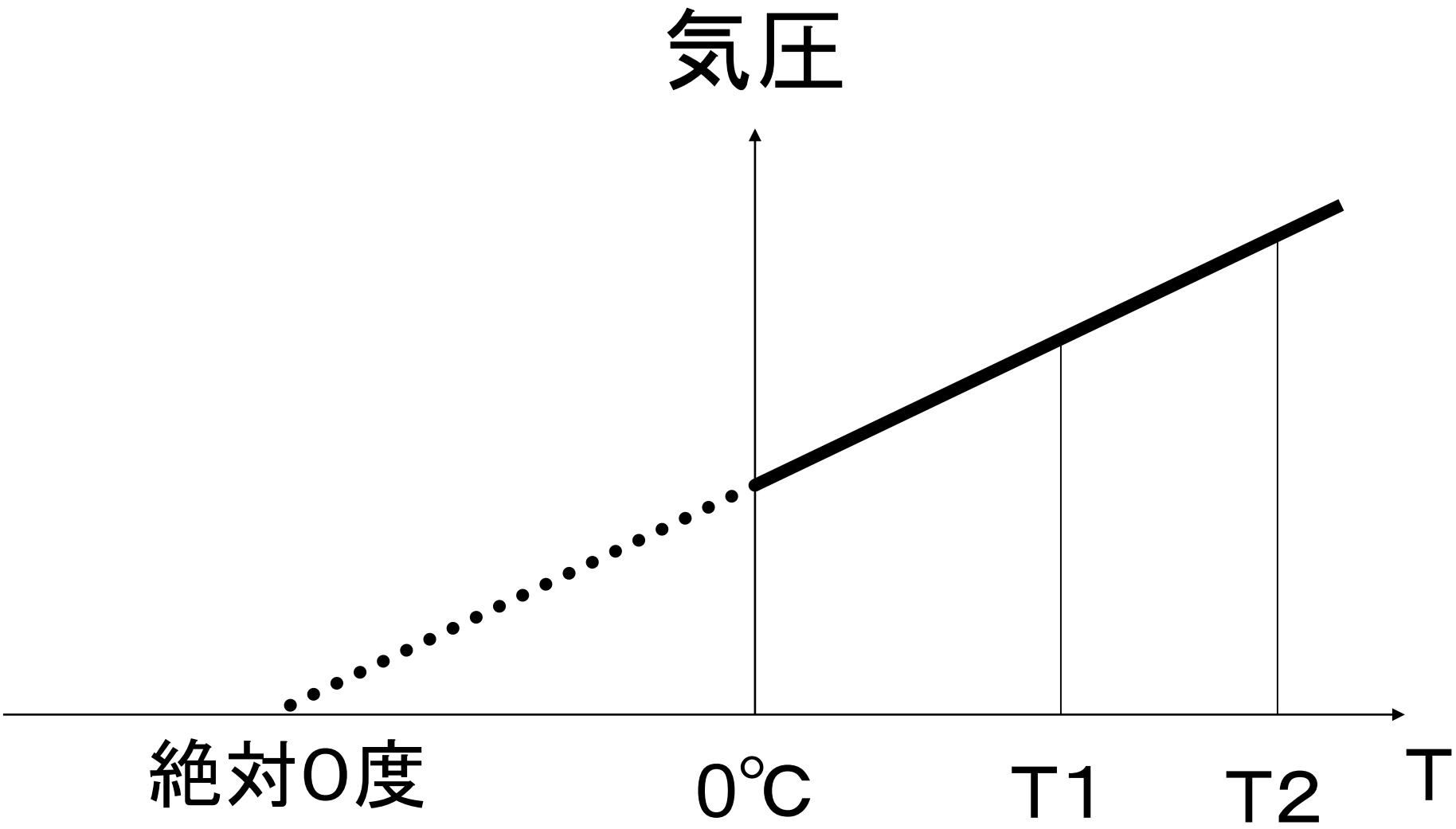
$$PV = nRT$$

$Pa * m^3$ J

-> $kg\ m^2\ s^{-2}$

-> J

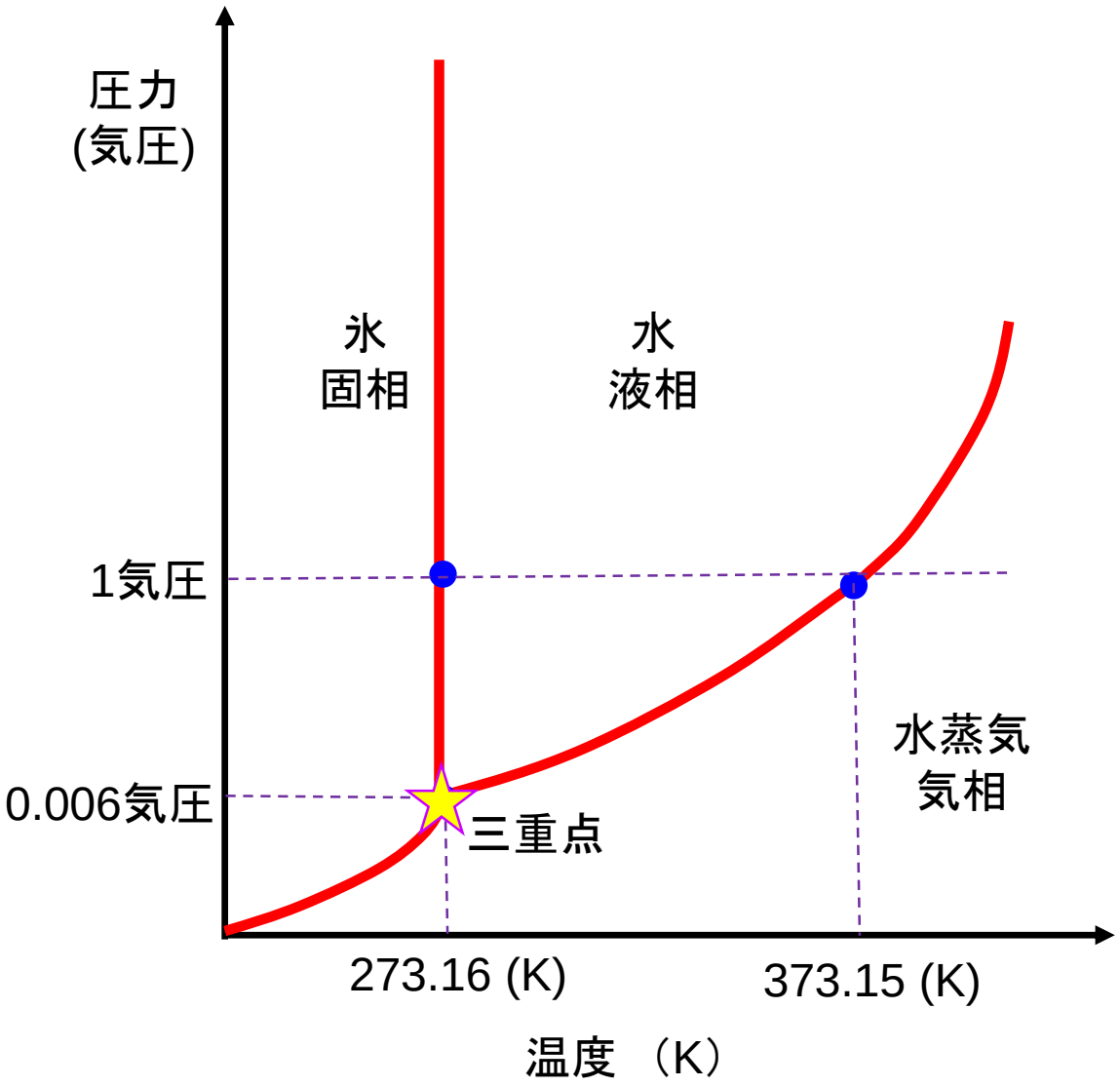
$R = 8.31\ J\ K^{-1}\ mol^{-1}$



絶対0度より低い温度はあるのか?

温度の定義

水の三重点の1.0/273.16



温度の新定義

ボルツマン定数

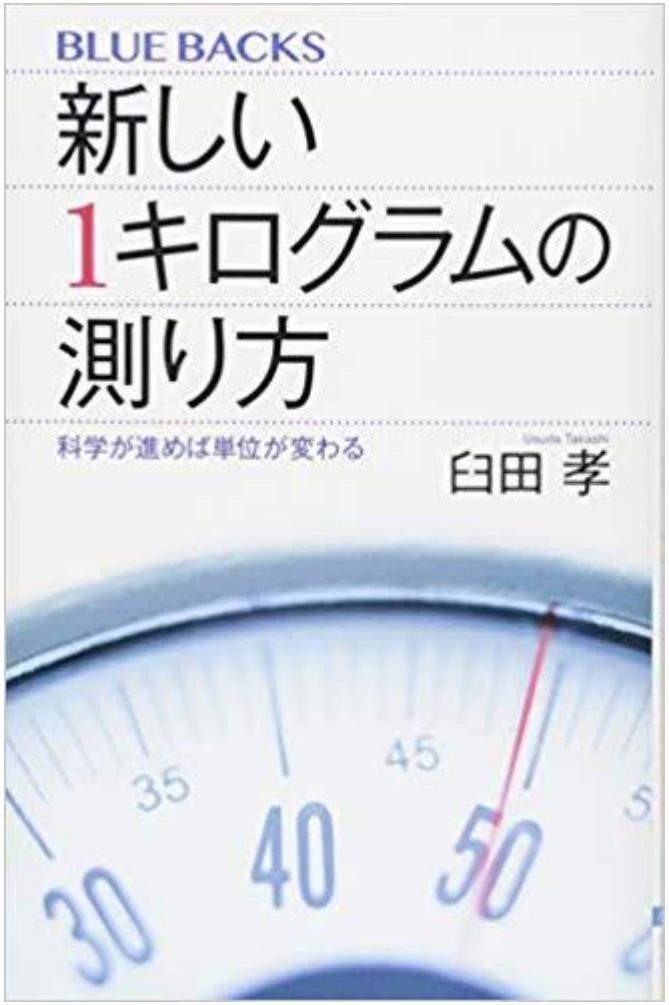
1.380649×10^{-23} J K^{-1} (kg m^2 s^{-2} K^{-1})

1 Kの温度上昇がもたらすエネルギー量

SI単位系 （国際単位系）

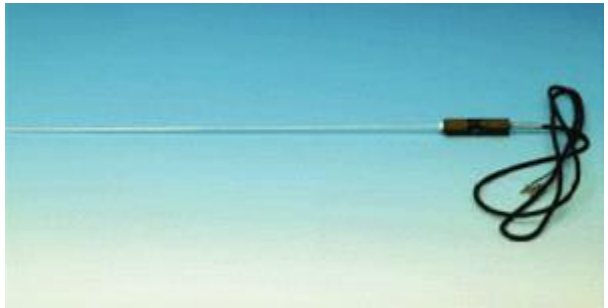
7つの基本単位の組み合わせ

長さ ： m
質量 ： kg
時間 ： 秒
電流 ： A
熱力学温度 ： K
物質量 : mol
光度 ： カンデラ (cd)

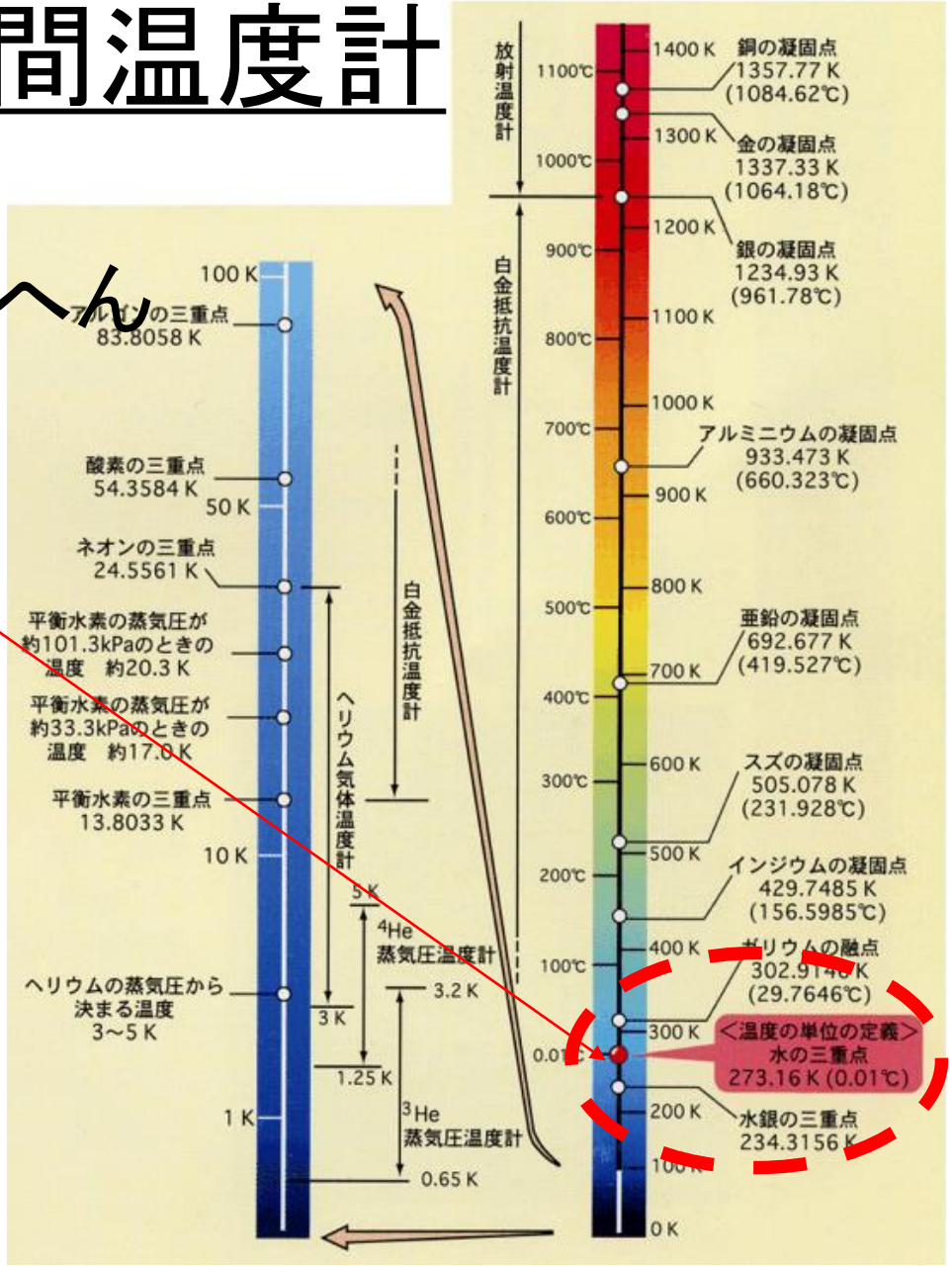


国際温度目盛と補間温度計

気温、地温などは、このへん



補間温度計 （白金抵温度計）

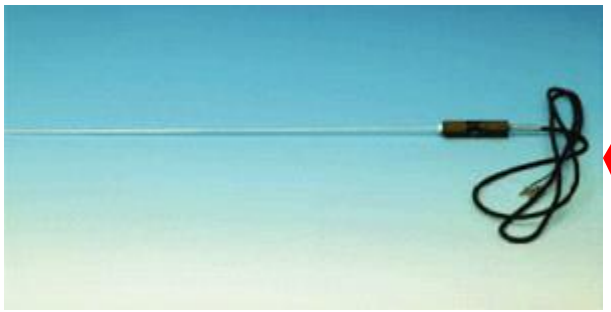


(産業総合研究所：https://www.nmij.jp/library/units/temperature/)

トレーサビリティー

日本工業規格(Japanese Industrial Standard; JIS)

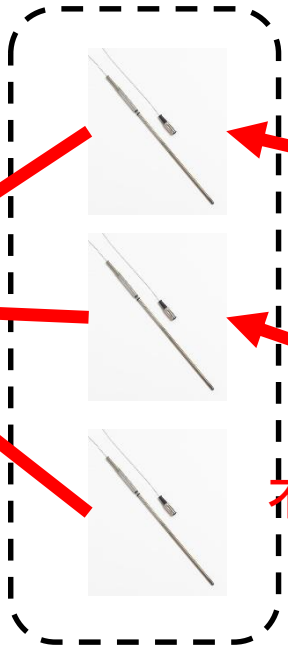
「不確かさがすべて表記された切れ目のない比較の連鎖によって、決められた基準に結びつけられ得る測定結果または標準の値の性質。基準は通常、国家標準または、国際標準」



一次温度計
（国際標準器で校正）

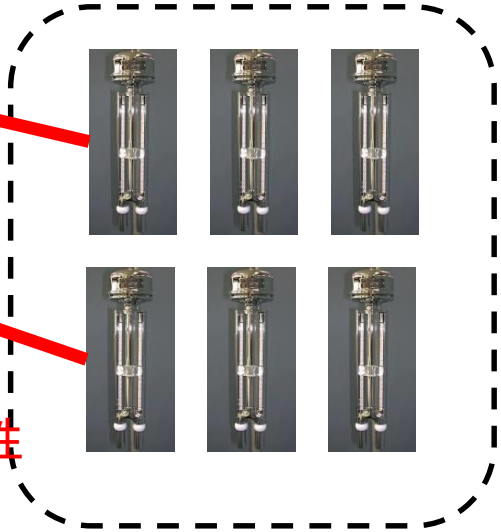
(産業総合研究所：https://www.nmij.jp/library/units/temperature/)

校正
不確実性



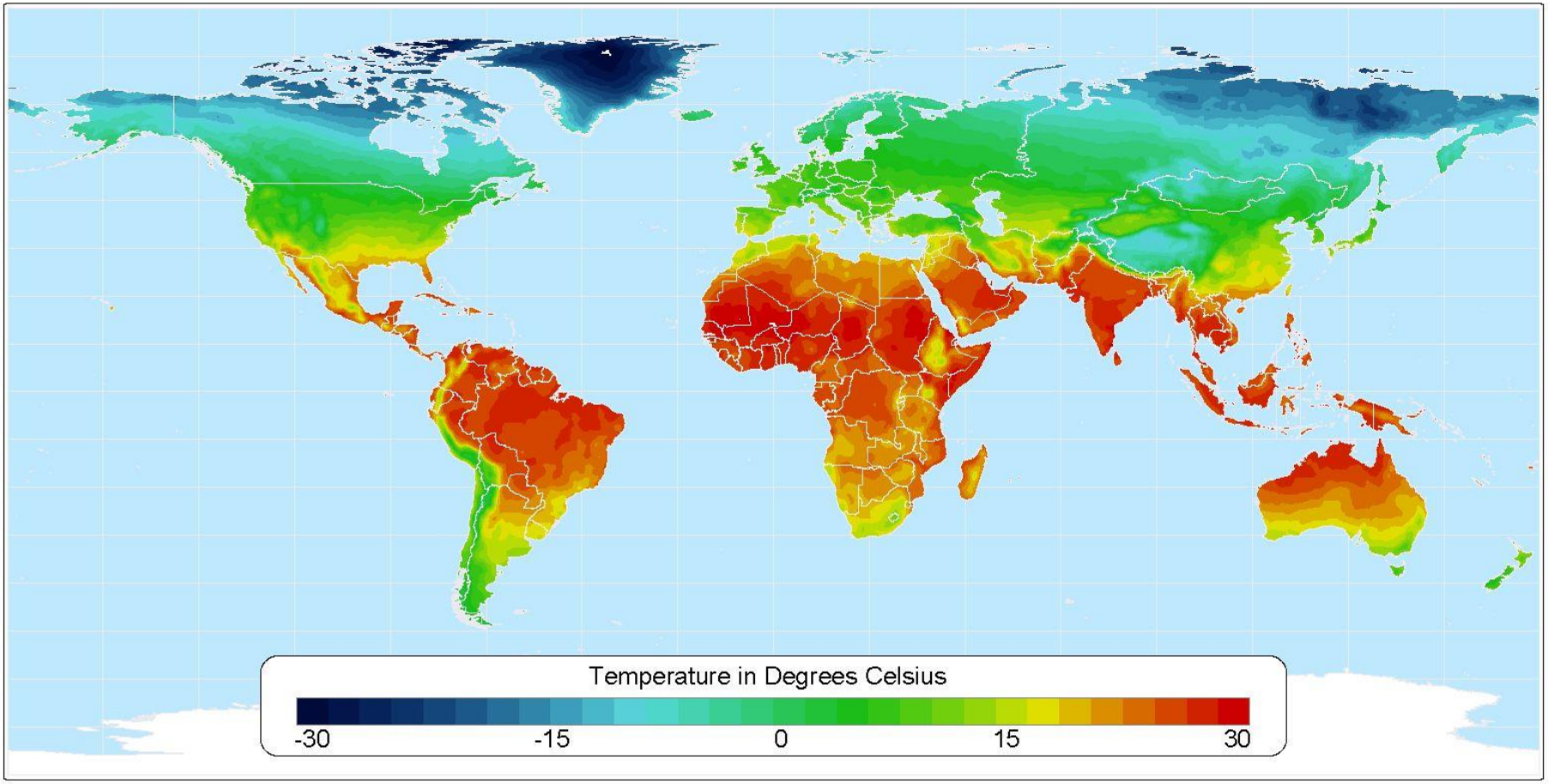
二次温度計
(https://jp.flukecal.com/)

校正
不確実性



市販の温度計

年間平均気温



Data taken from: CRU 0.5 Degree Dataset (New, et al.)

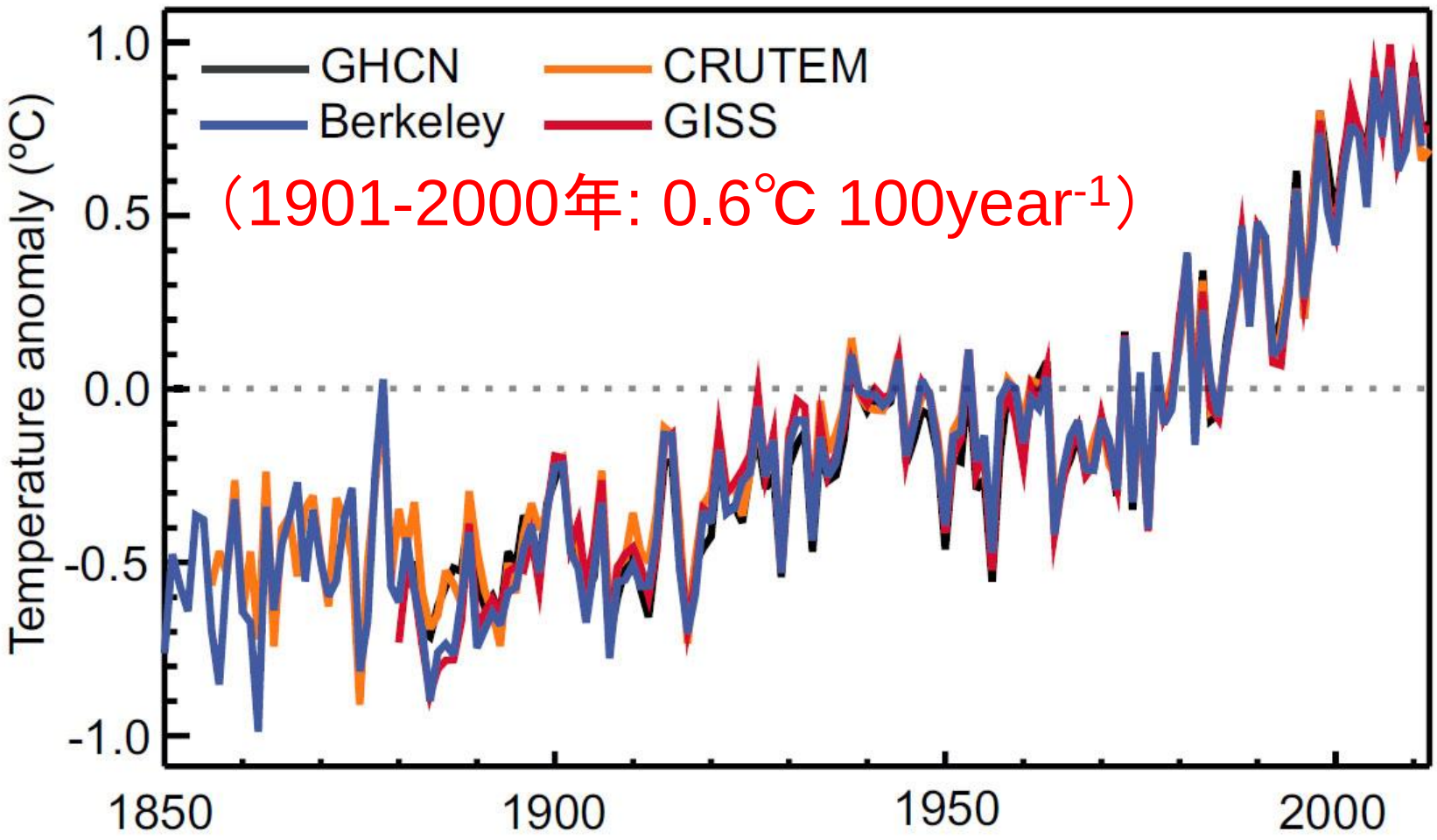
Atlas of the Biosphere
Center for Sustainability and the Global Environment
University of Wisconsin - Madison

http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps.php?catnum=3&type=Ecosystems

地球は温暖化しているでしょうか？

- ☑ してる （何度くらい？）
- ☑ していない
- ☑ 分からない

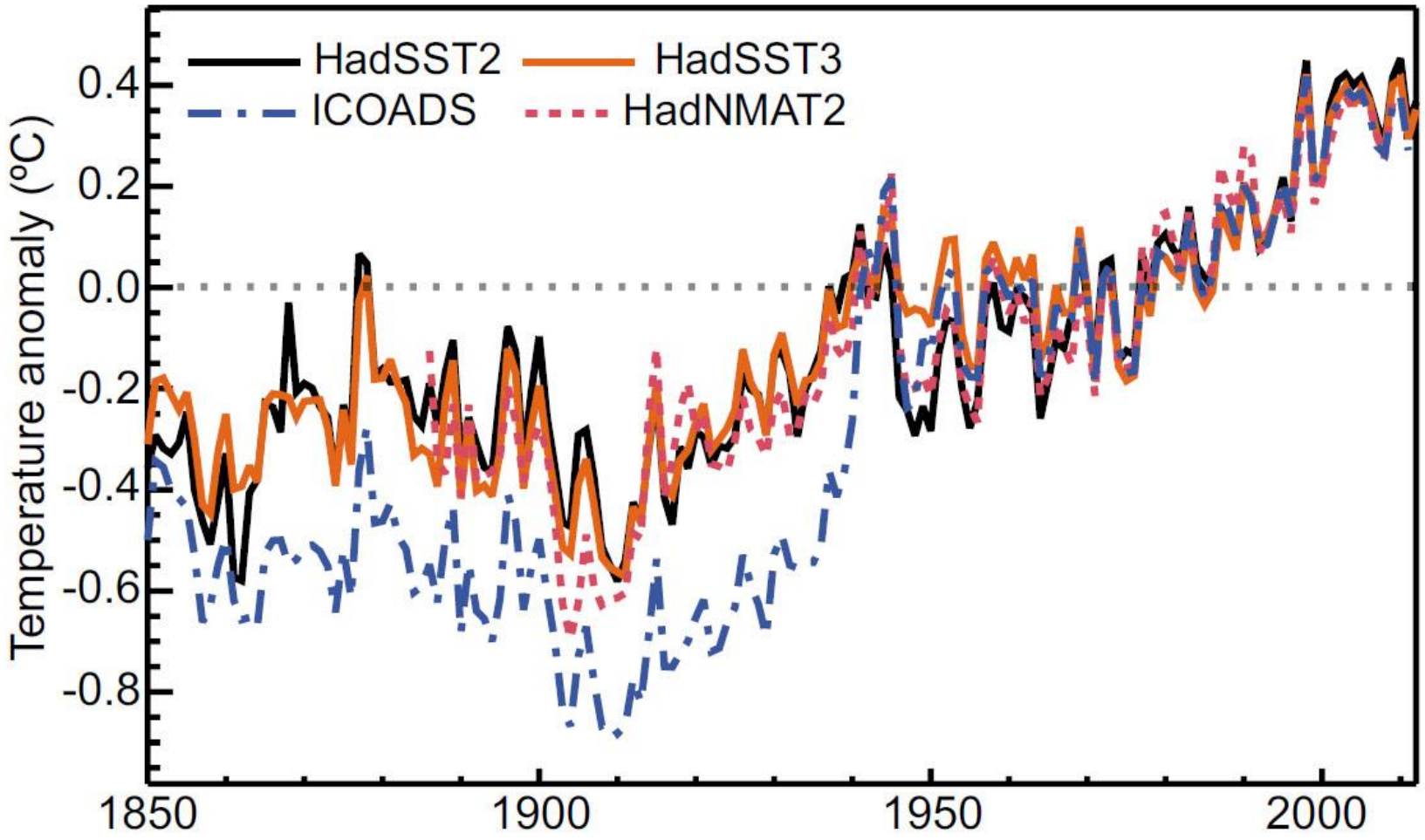
全球の気温



* 1961-1990年平均に対する相対値

(IPCC, 2013; 第5次報告書)

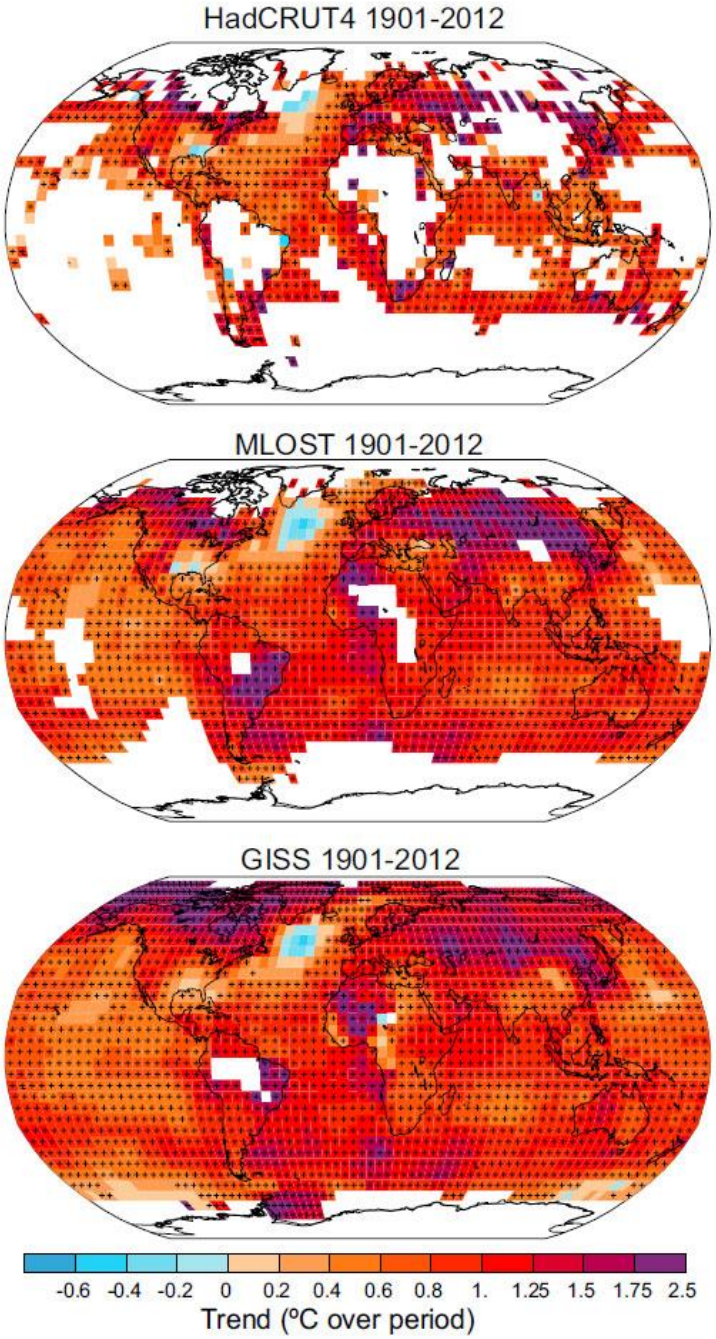
全球の海面温度



* 1961-1990年平均に対する相対値

(IPCC, 2013; 第5次報告書)

昇温量

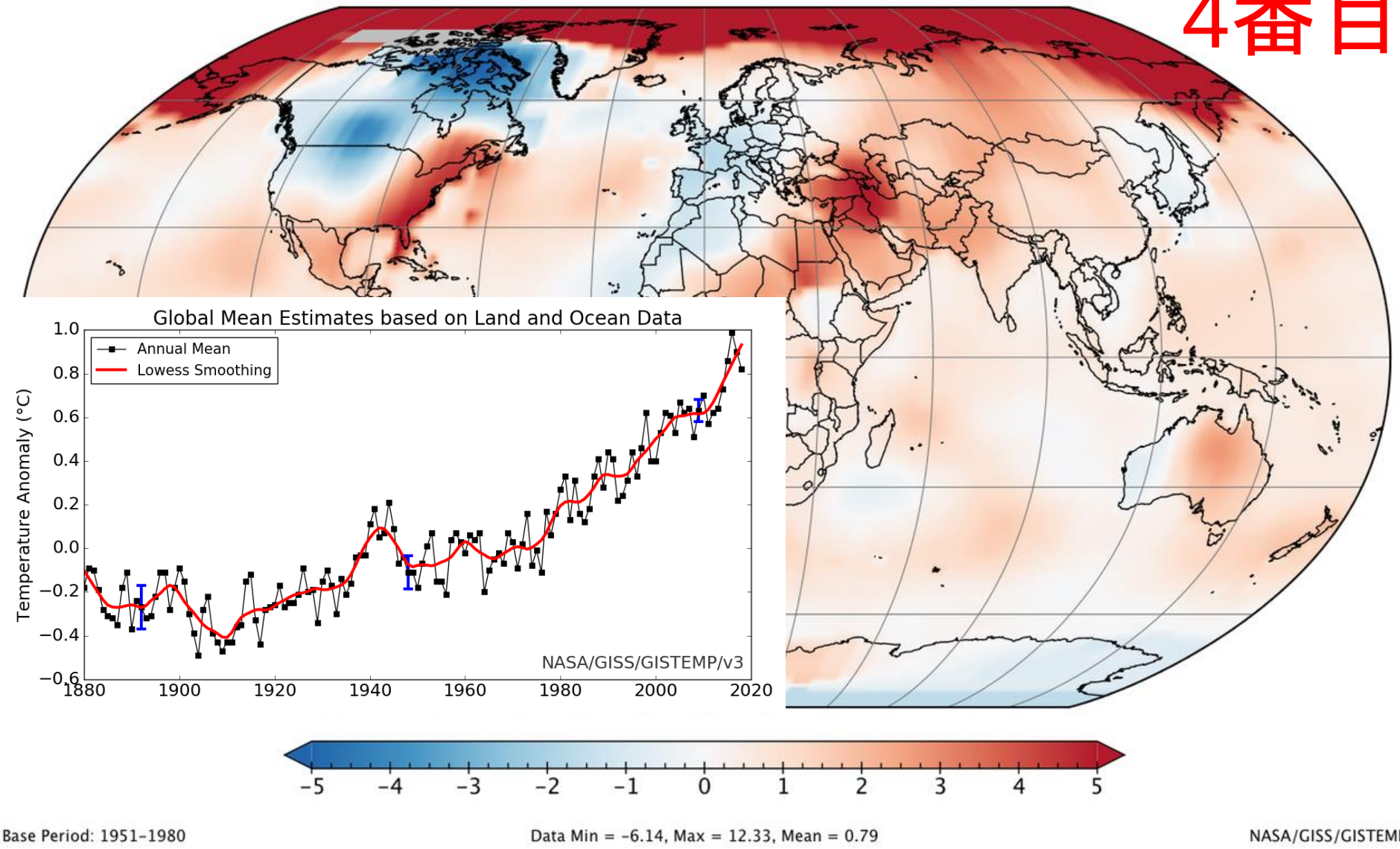


(IPCC, 2013; 第5次報告書)

2018

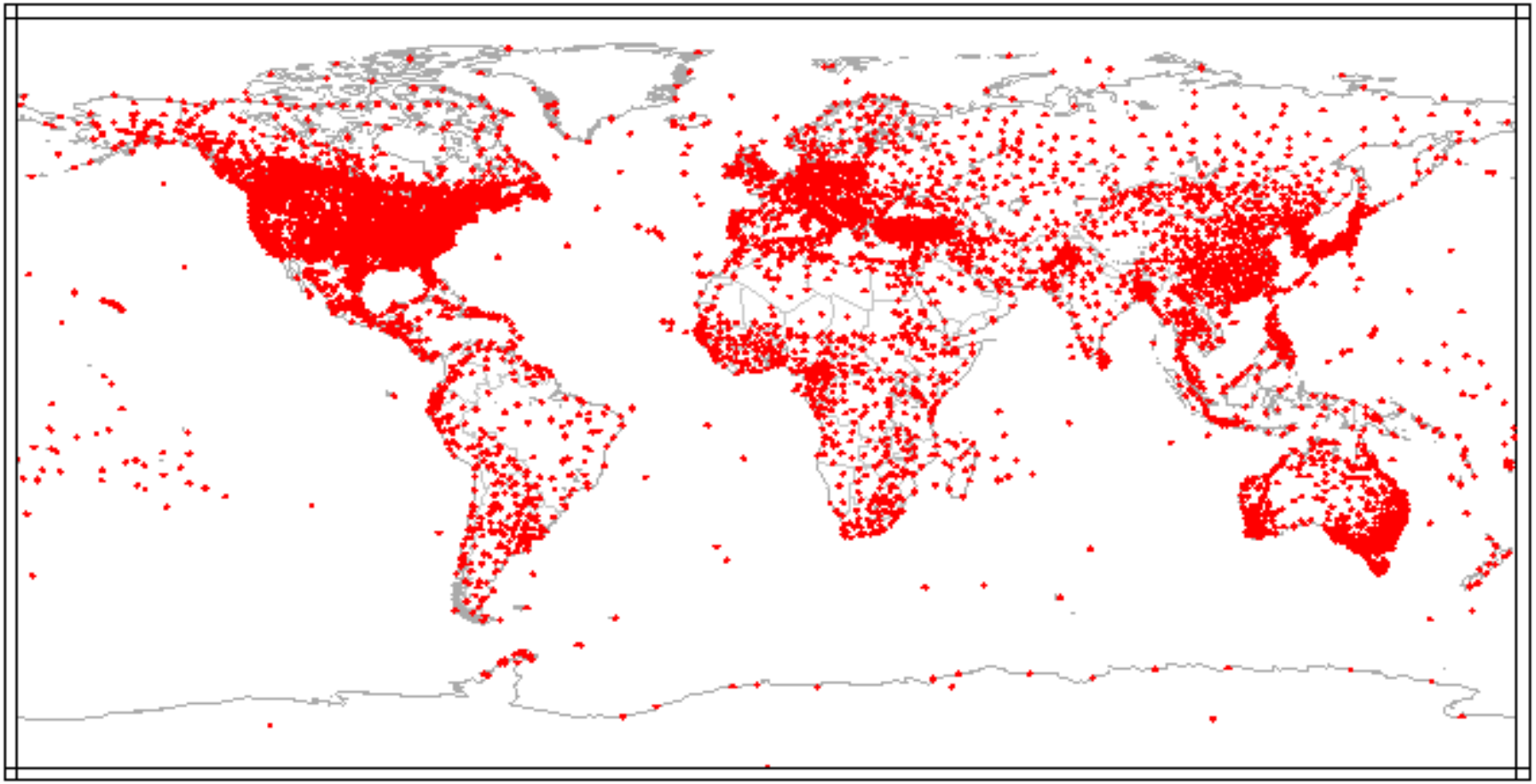
2018年平均気温：139年間で4番目

1951-1980年平均に対する2018年2月の偏差



https://climate.nasa.gov/news/2694/february-2018-was-sixth-warmest-february-on-record/

世界の気象観測所



http://www.ncdc.noaa.gov/img/climate/research/ghcn/ghcnv2.mean.gif

温度(気温)の観測

液体封入温度計	液体の膨張
熱電対温度計	異金属接合部の熱起電力
電気抵抗温度計	金属･半導体の電気抵抗
放射温度計	物体の熱放射量

(農業気象の測器と測定法, 1997)

液体封入温度計

原理

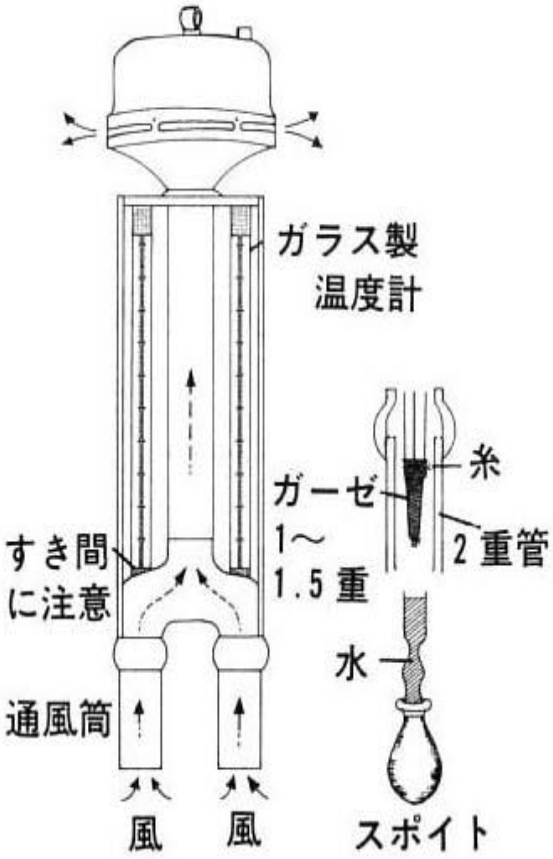
アルコール、水銀の熱膨張を利用

利点

取扱いが容易

欠点

破損しやすい、自動記録できない



アスマン通風乾湿計

熱電対温度計

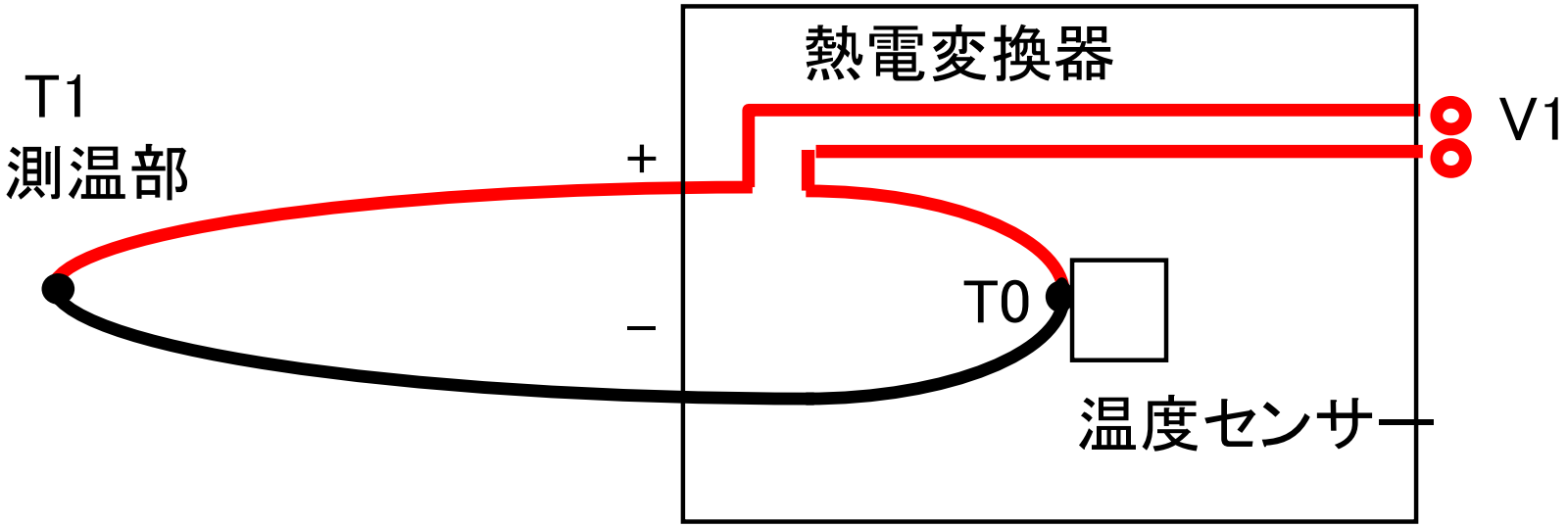
原理　ゼーベック効果

利点

測温部を小さくできる、　自動記録できる

欠点

ノイズが乗る場合がある



電気抵抗温度計

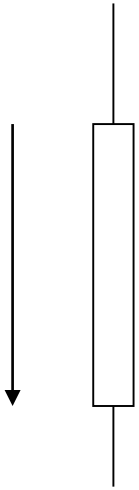
原理　金属・半導体の電気抵抗

利点　自動記録できる

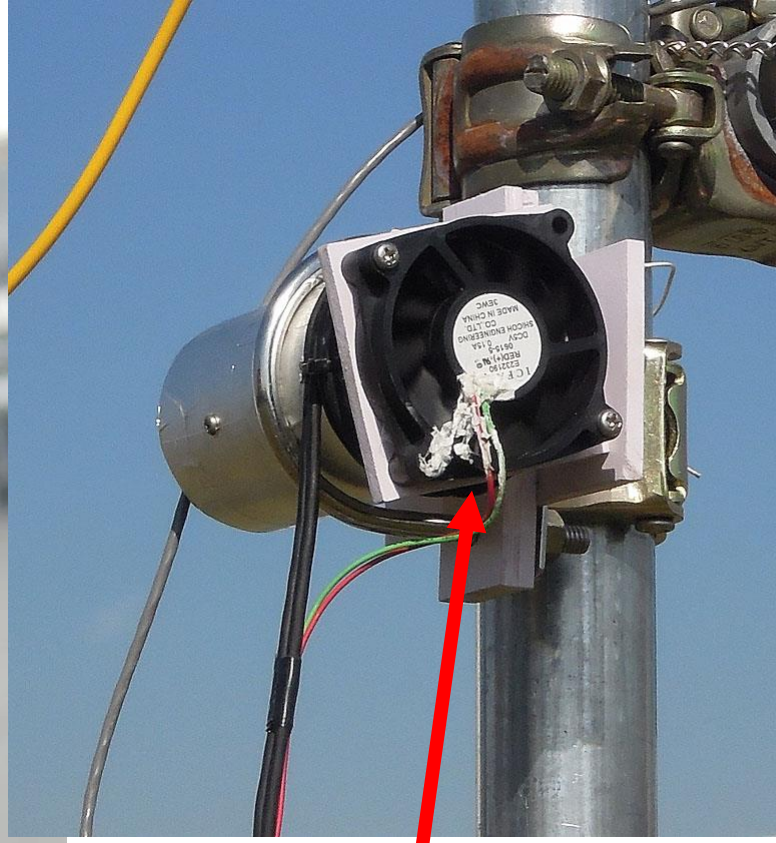
欠点　自己発熱

白金抵抗温度計

サーミスタ温度計　（経年劣化する）



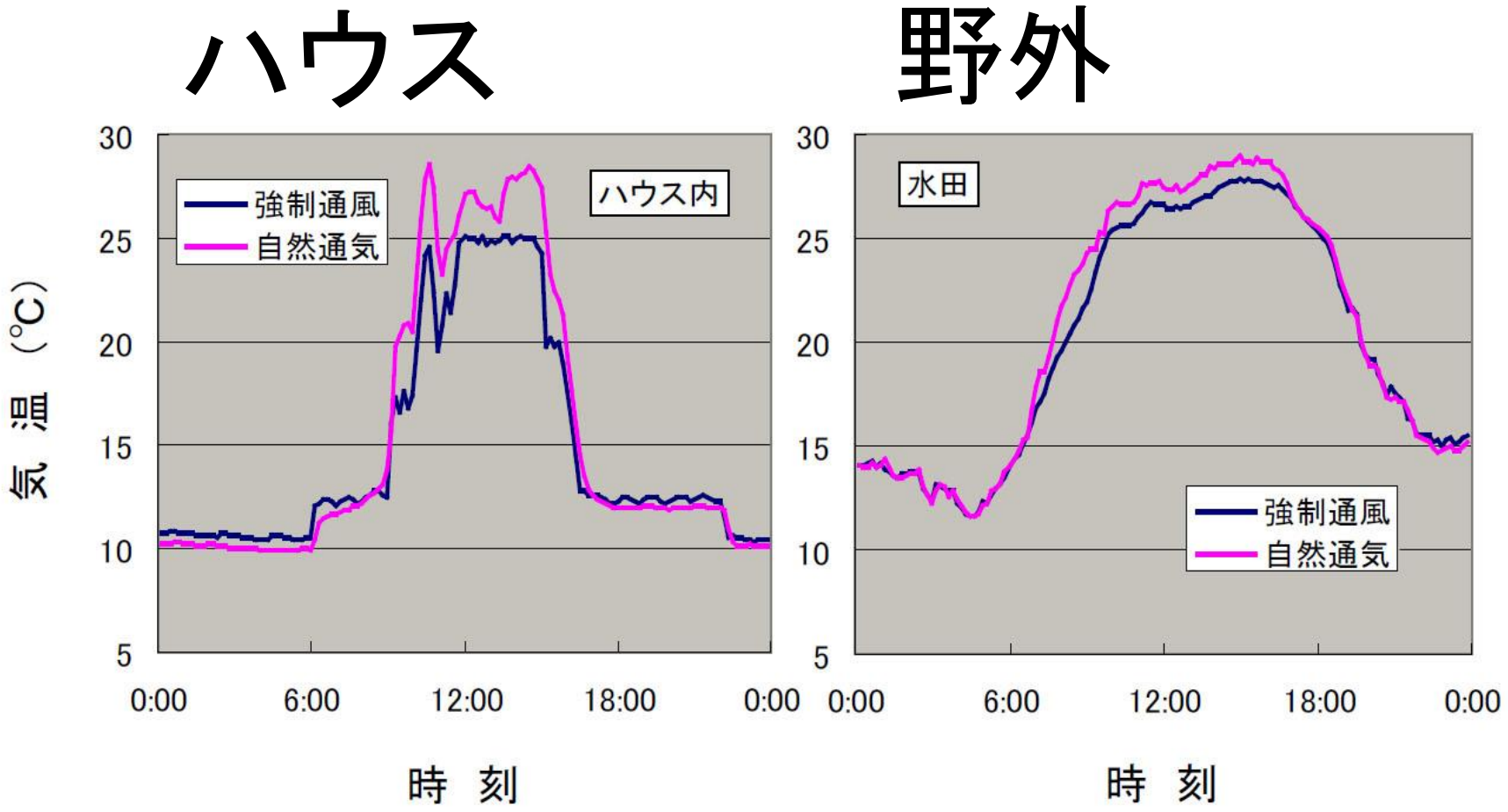
両端に生じる電圧が
絶対温度に比例する



測定高度と遮蔽、通風

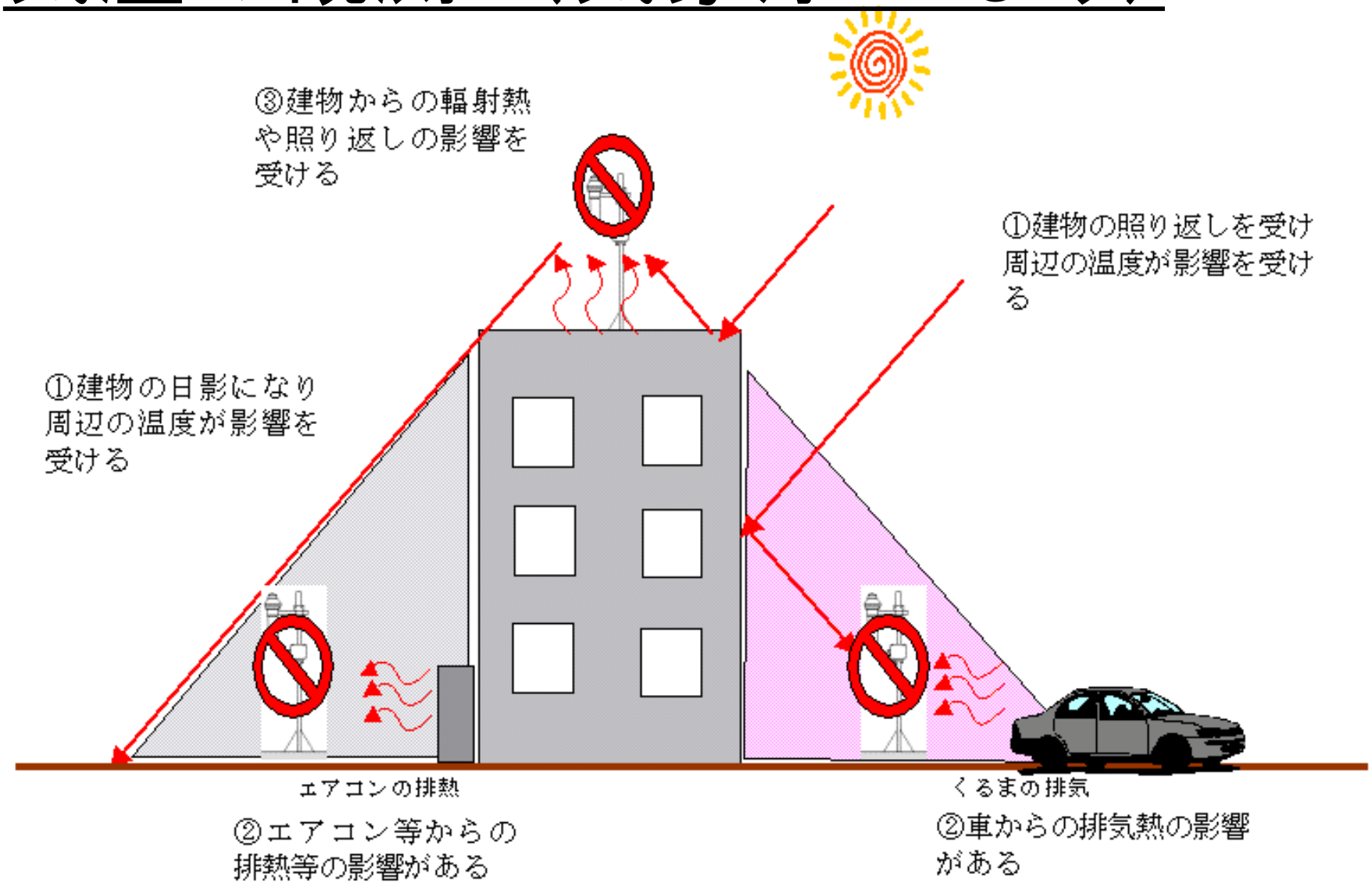
通風ファン

二重筒



（岡田・中村, 2010; 生物と気象）

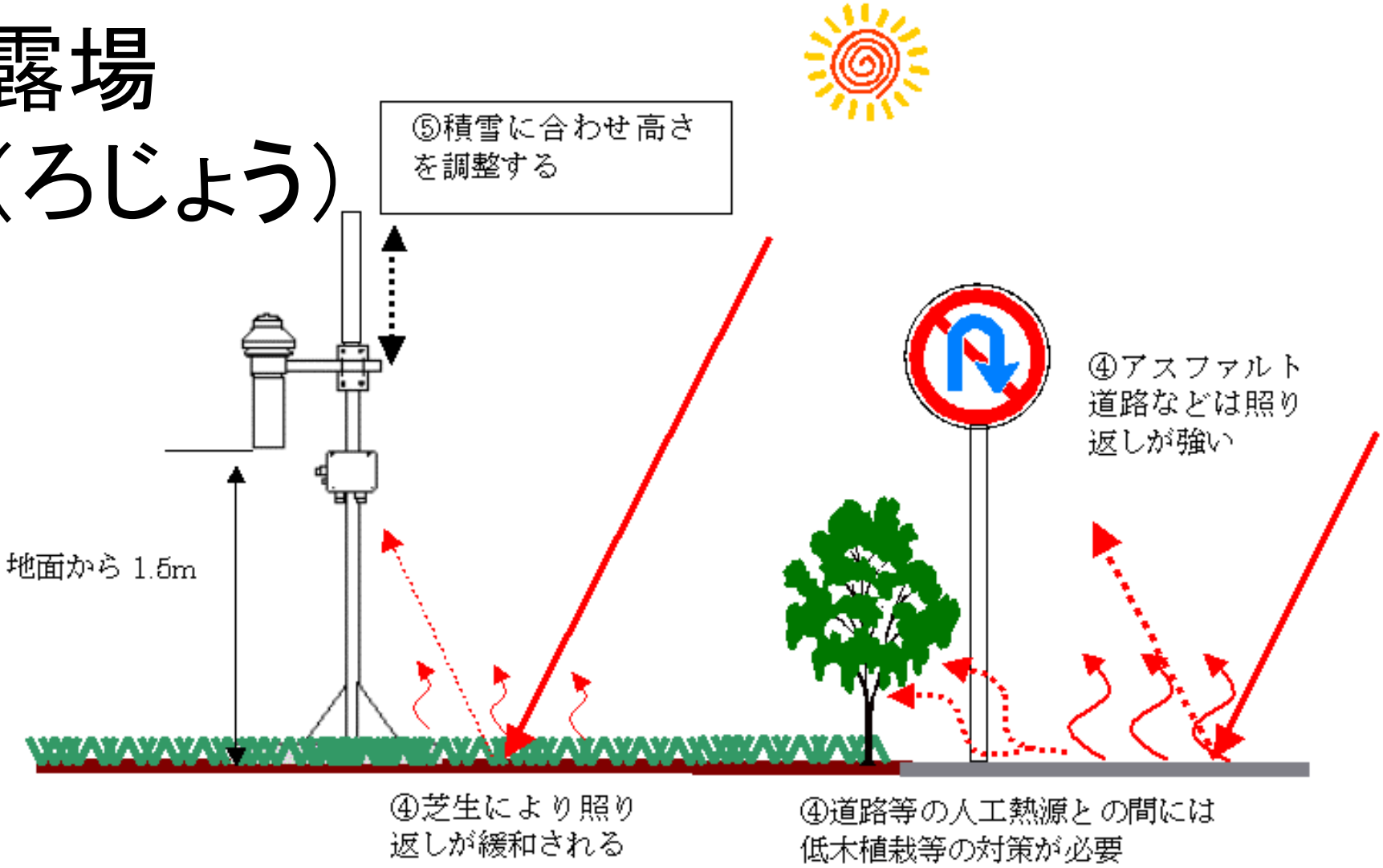
気温の観測 （気象庁HPより）



http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kansoku_guide/d2.html

気温の観測 （気象庁HPより）

露場（ろじょう）



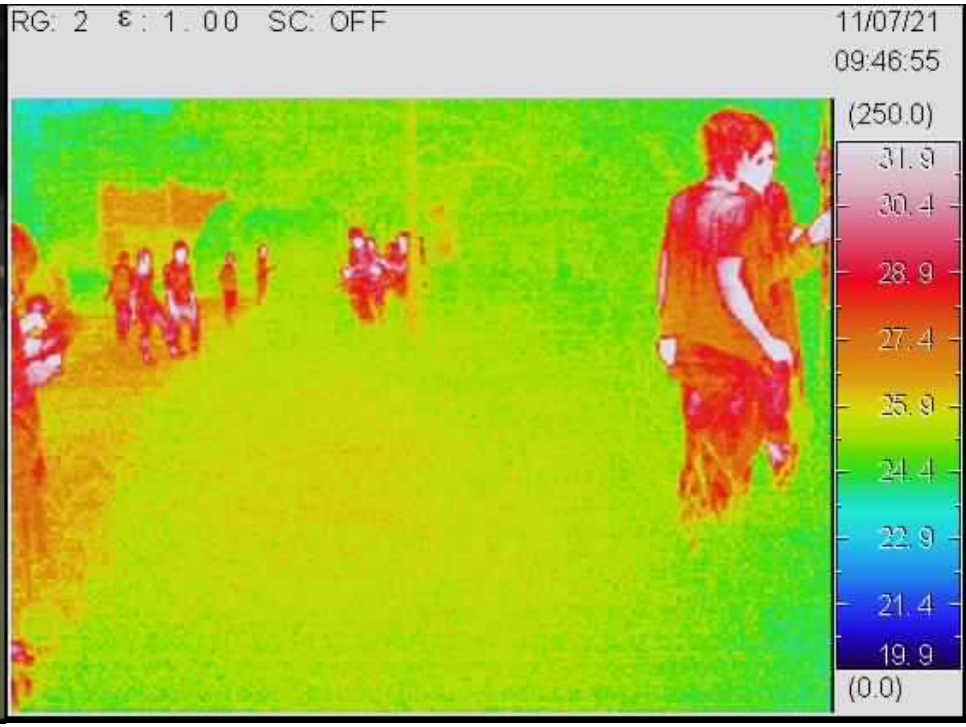
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kansoku_guide/d2.html

放射温度計

原理　物体の熱放射量

利点　非接触、自動記録

欠点　射出率の決定



ステファン・ボルツマンの法則

$$L = \varepsilon \sigma T_{\mathrm{surf}}^{4}$$

長波放射量
($W\ m^{-2}$)

表面温度 (K)

ステファン・ボルツマン定数
$5.67 \times 10^{-8}\ W\ m^{-2}\ K^{-4}$

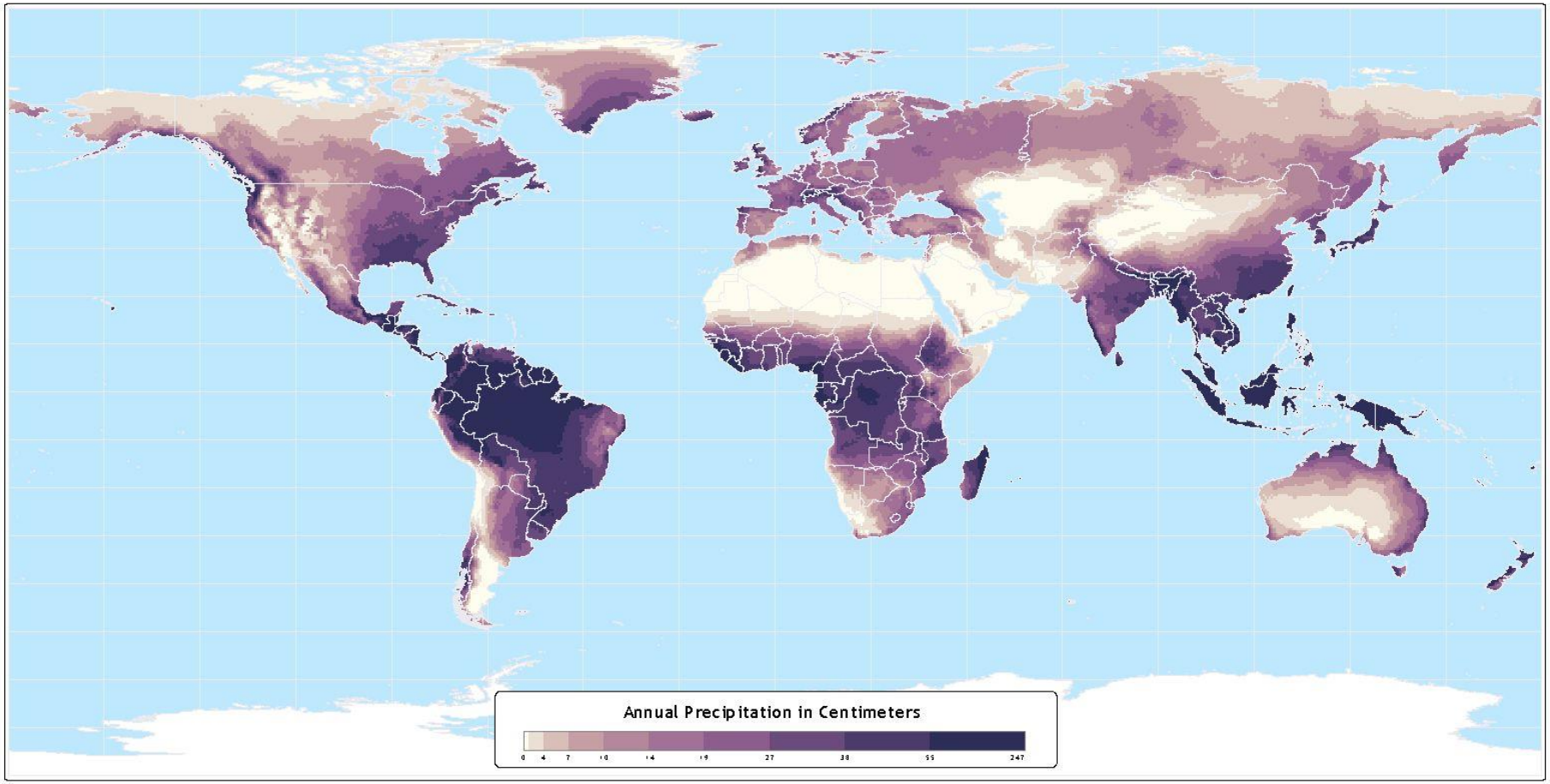
射出率

ヨーゼフ・シュテファン

ルートヴィッヒ・ボルツマン

（写真：Wikipediaより）

年間積算降水量



Data taken from: CRU 0.5 Degree Dataset (New et al)

Atlas of the Biosphere
Center for Sustainability and the Global Environment
University of Wisconsin - Madison

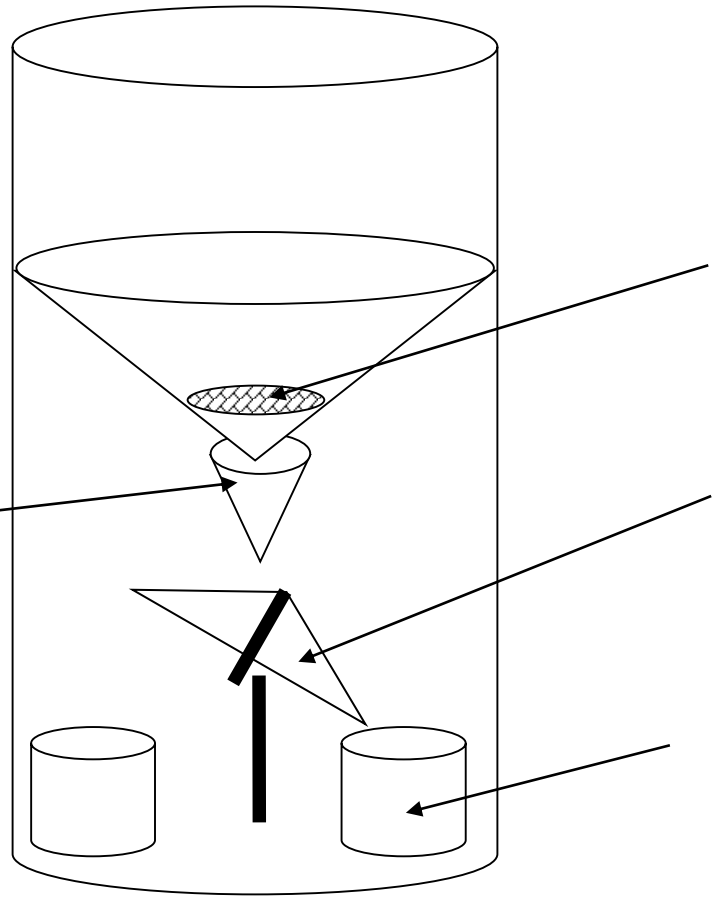
http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps.php?catnum=3&type=Ecosystems

降水量の観測

降水量の観測

転倒ます型雨量計

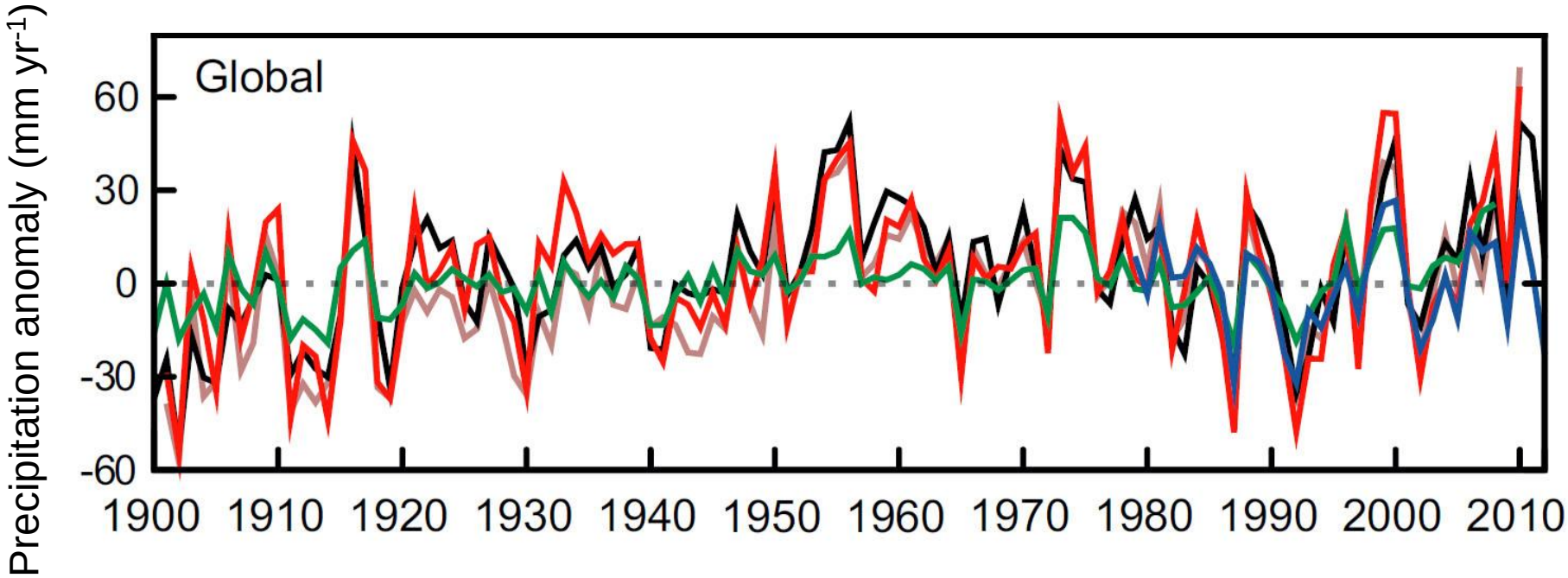
液体の重量



降水量は変化しているでしょうか？

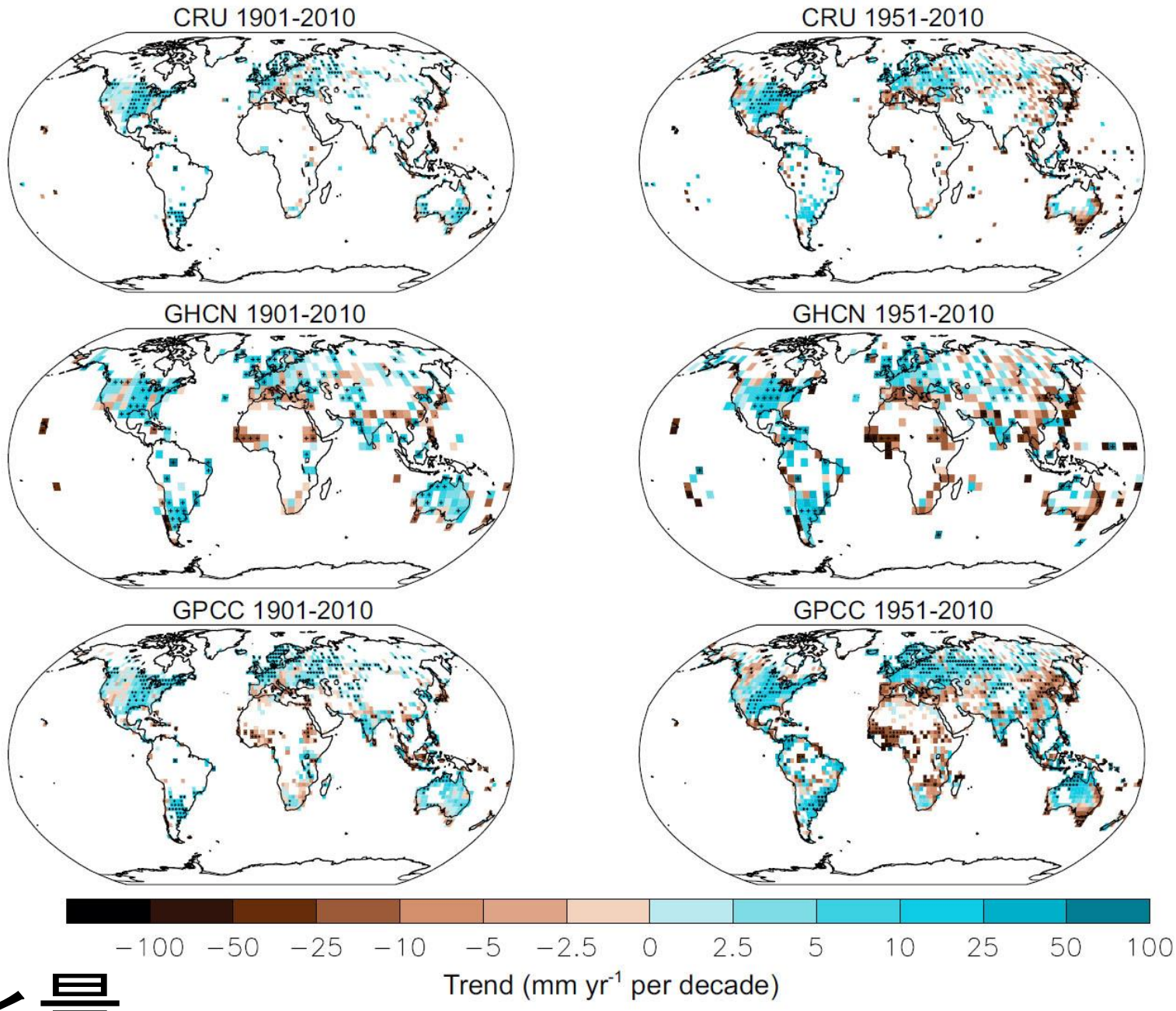
- ☑ してる
- ☑ していない
- ☑ 分からない

陸上年間降水量



* 1981-2000年平均に対する相対値

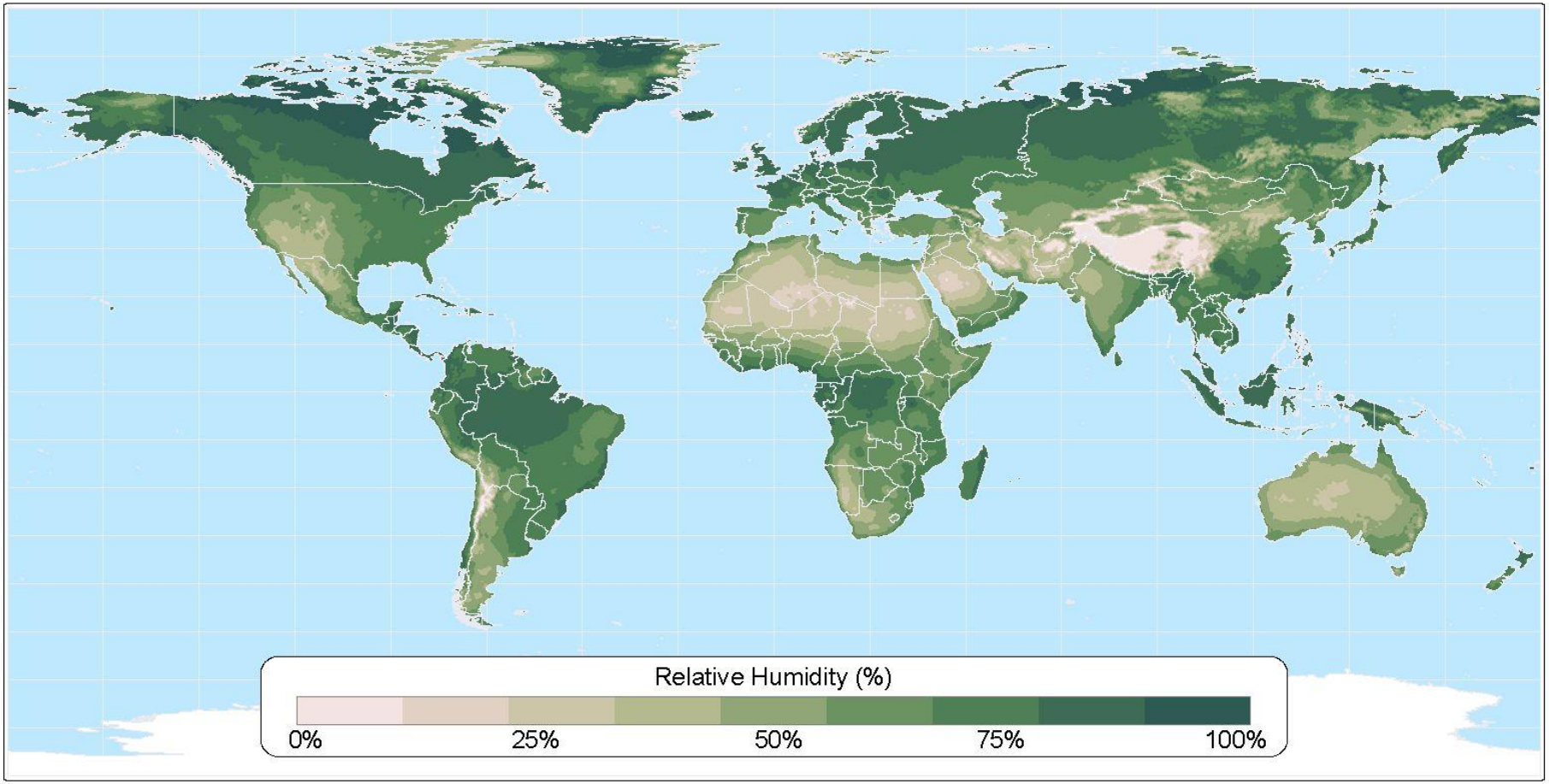
(IPCC, 2013; 第5次報告書)



変化量

(IPCC, 2013; 第5次報告書)

年間平均相対湿度



Data taken from: CRU 0.5 Degree Dataset (New, et al.)

Atlas of the Biosphere
Center for Sustainability and the Global Environment
University of Wisconsin - Madison

http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps.php?catnum=3&type=Ecosystems

湿度諸量

比湿　　:湿潤空気1 kgに含まれる水蒸気の質量
(g kg^{-1})

混合比　　:乾燥空気1 kgに含まれる水蒸気の質量
(g kg^{-1})

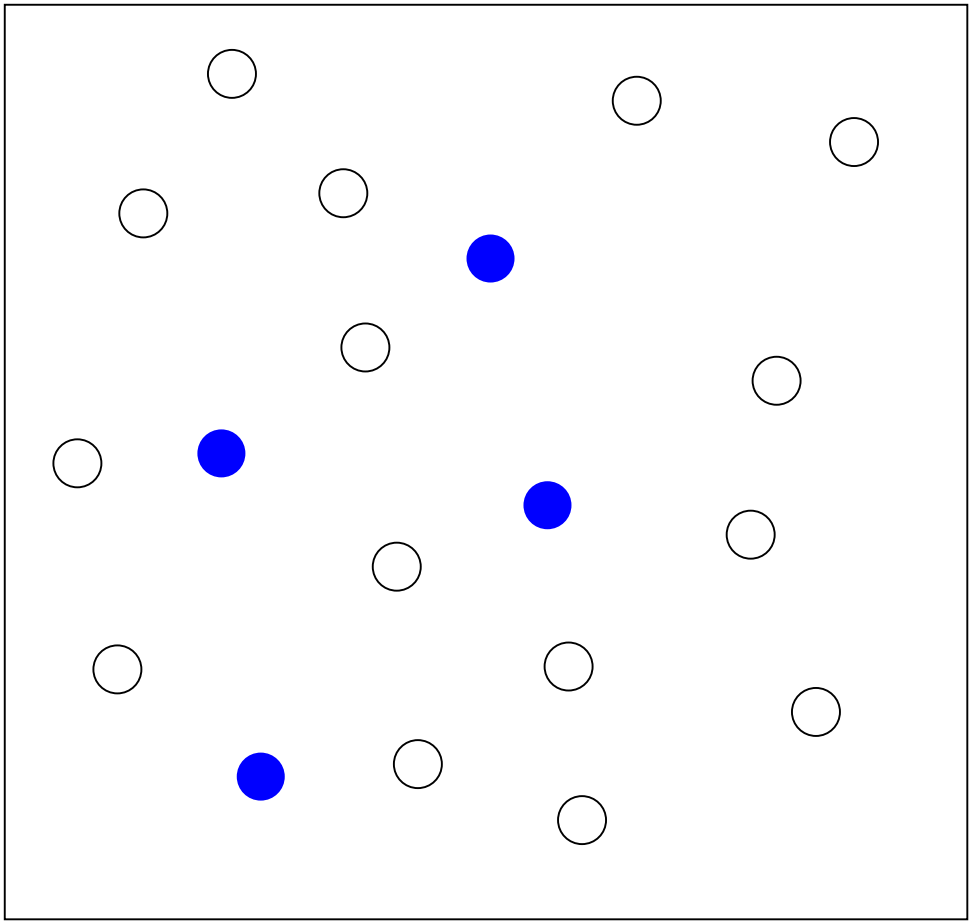
水蒸気圧　:大気中の水蒸気分圧
(hPa)

相対湿度　:飽和水蒸気圧と水蒸気圧の比
（%）

露点温度　:現在の水蒸気圧が飽和水蒸気圧となるときの温度
（℃）

飽差　　:飽和水蒸気圧と水蒸気圧の差
(hPa)

単位重量中の水蒸気の重量



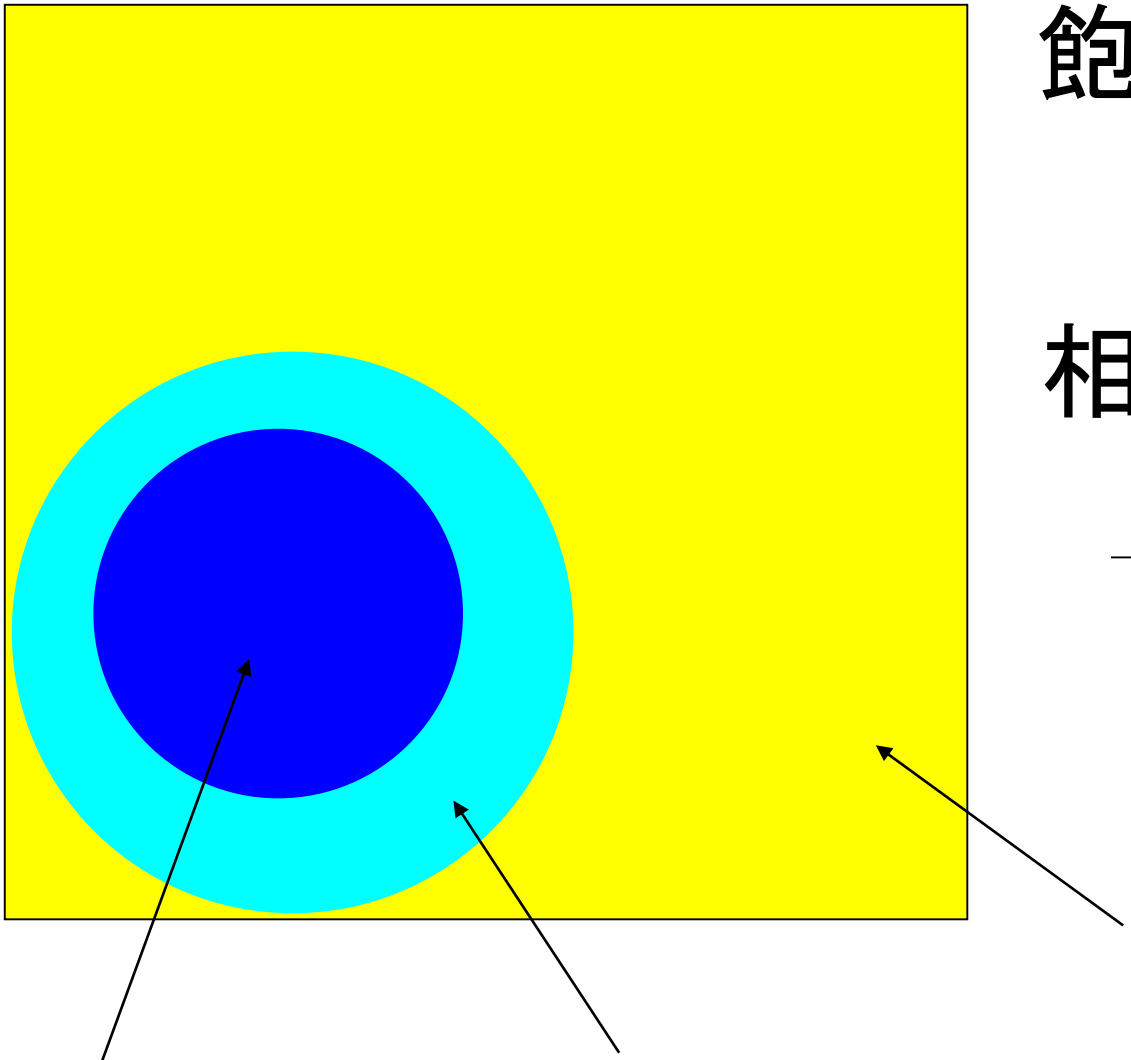
水蒸気

乾燥空気

比湿 $\dfrac{4\ \text{kg}}{15 + 4\ \text{kg}}$

混合比 $\dfrac{4\ \text{kg}}{15\ \text{kg}}$

水蒸気分圧



水蒸気圧

飽和水蒸気圧

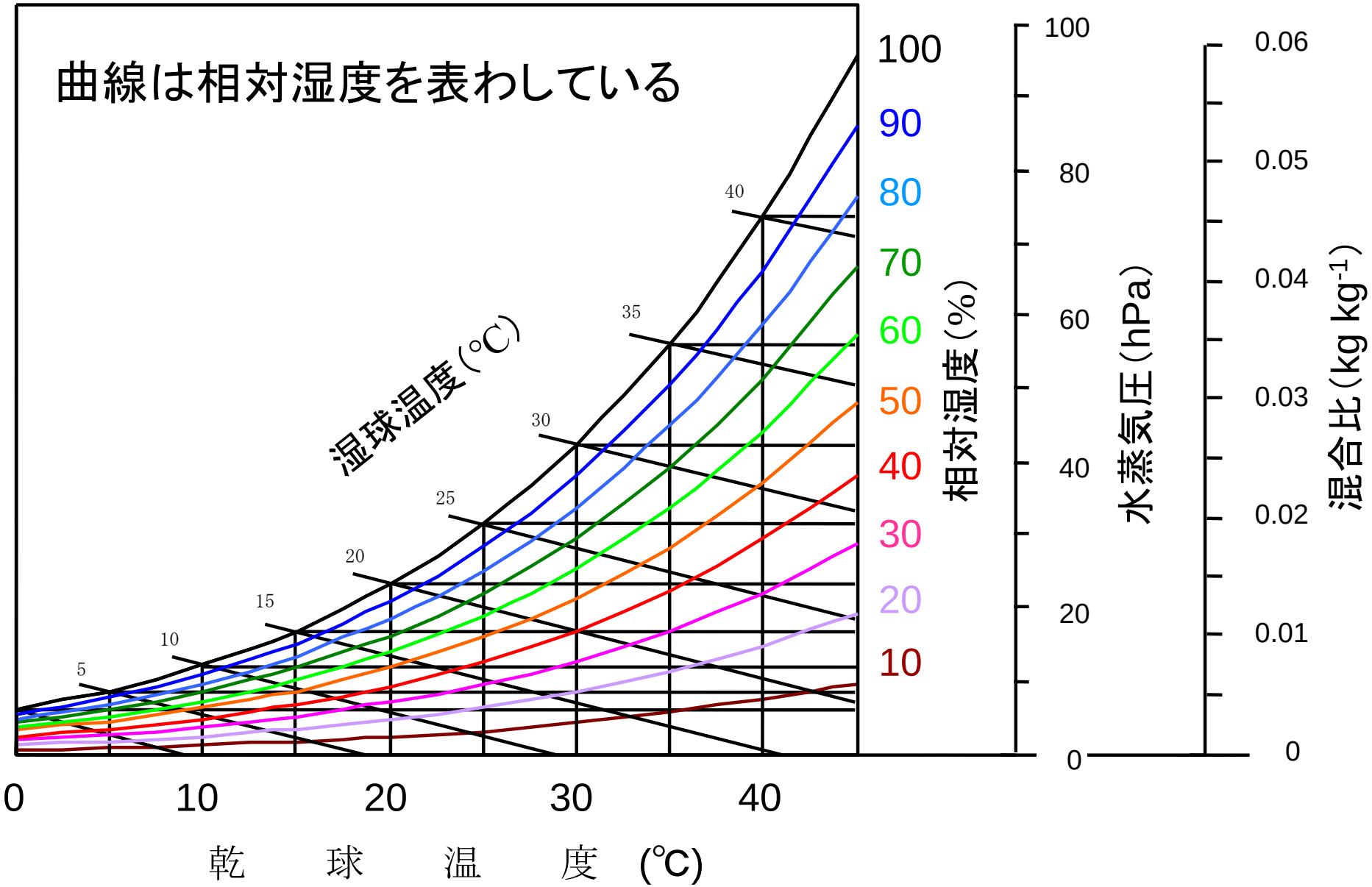
＋

相対湿度

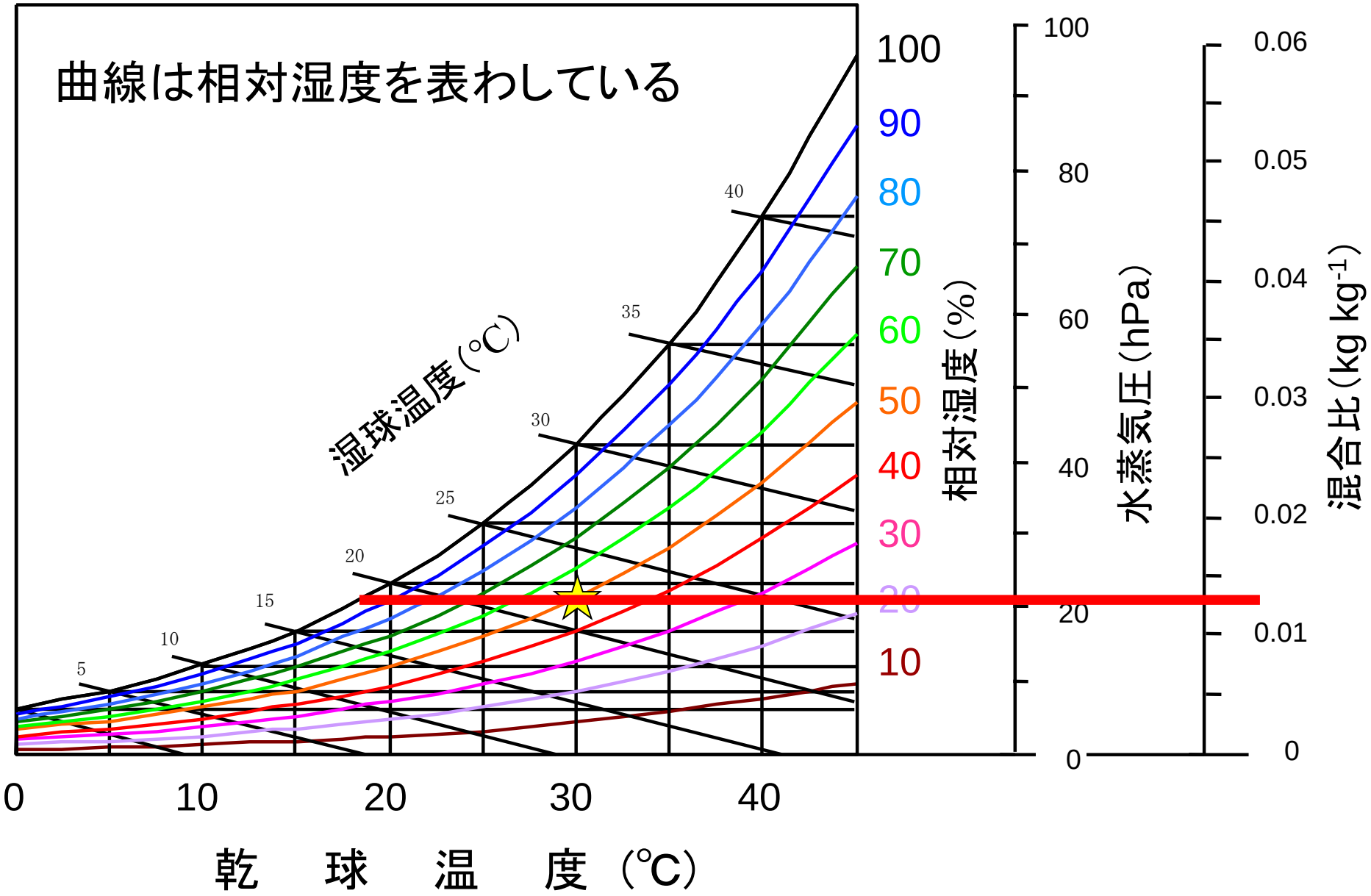
＋

飽差

湿り空気線


曲線は相対湿度を表わしている
湿球温度(℃)
5
10
15
20
25
30
35
40
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
相対湿度(%)
100
80
60
40
20
0
水蒸気圧(hPa)
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
混合比(kg kg-1)
0
10
20
30
40
乾　球　温　度　(℃)

湿り空気線

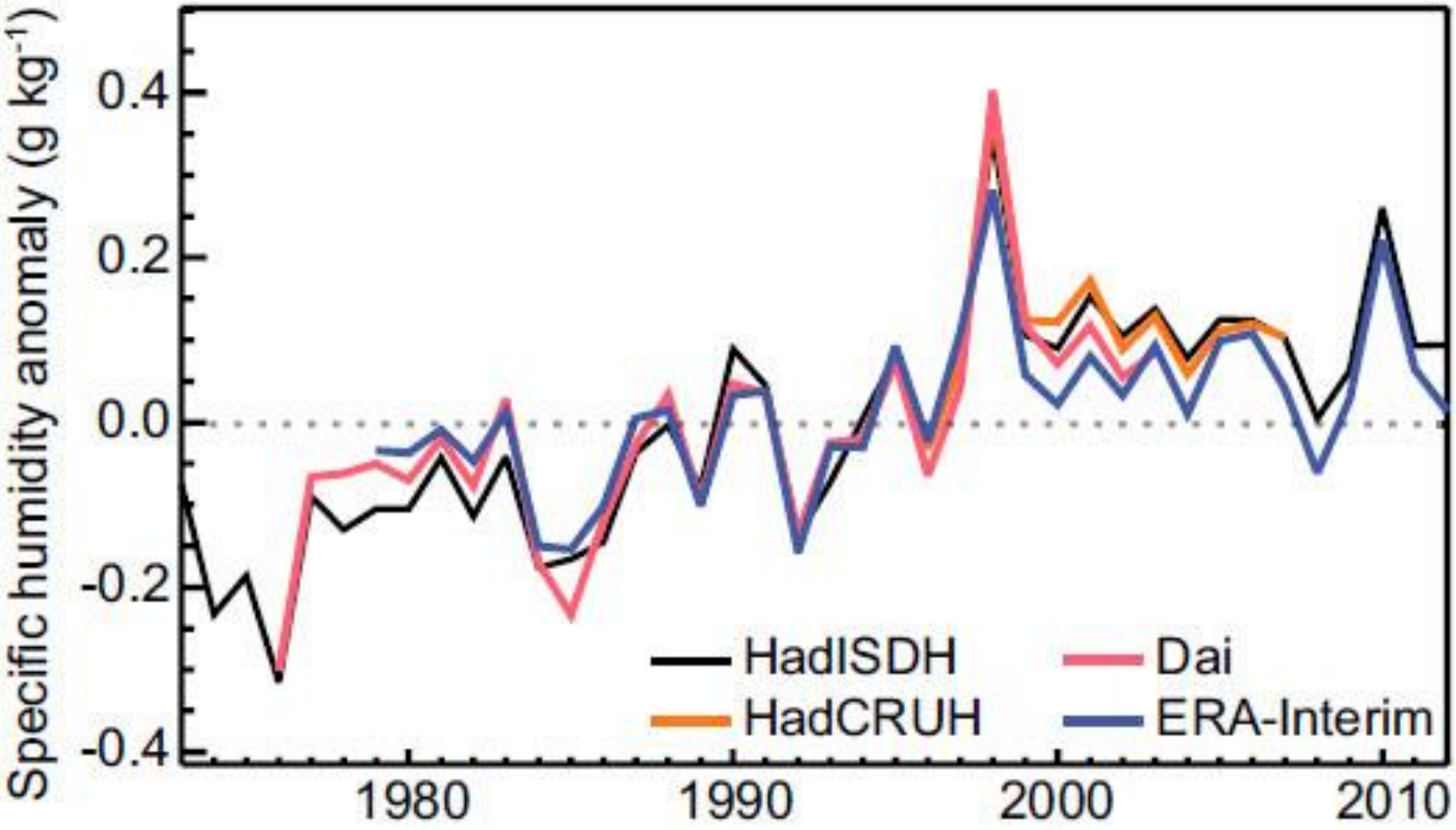

曲線は相対湿度を表わしている
湿球温度(℃)
5
10
15
20
25
30
35
40
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
相対湿度(%)
100
80
60
40
20
0
水蒸気圧(hPa)
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
混合比(kg kg-1)
0
10
20
30
40
乾　球　温　度（℃）

湿度の観測

アスマン乾湿計	気化潜熱
電子湿度計	電気抵抗
赤外線ガス分析計	吸光量

全球の比湿

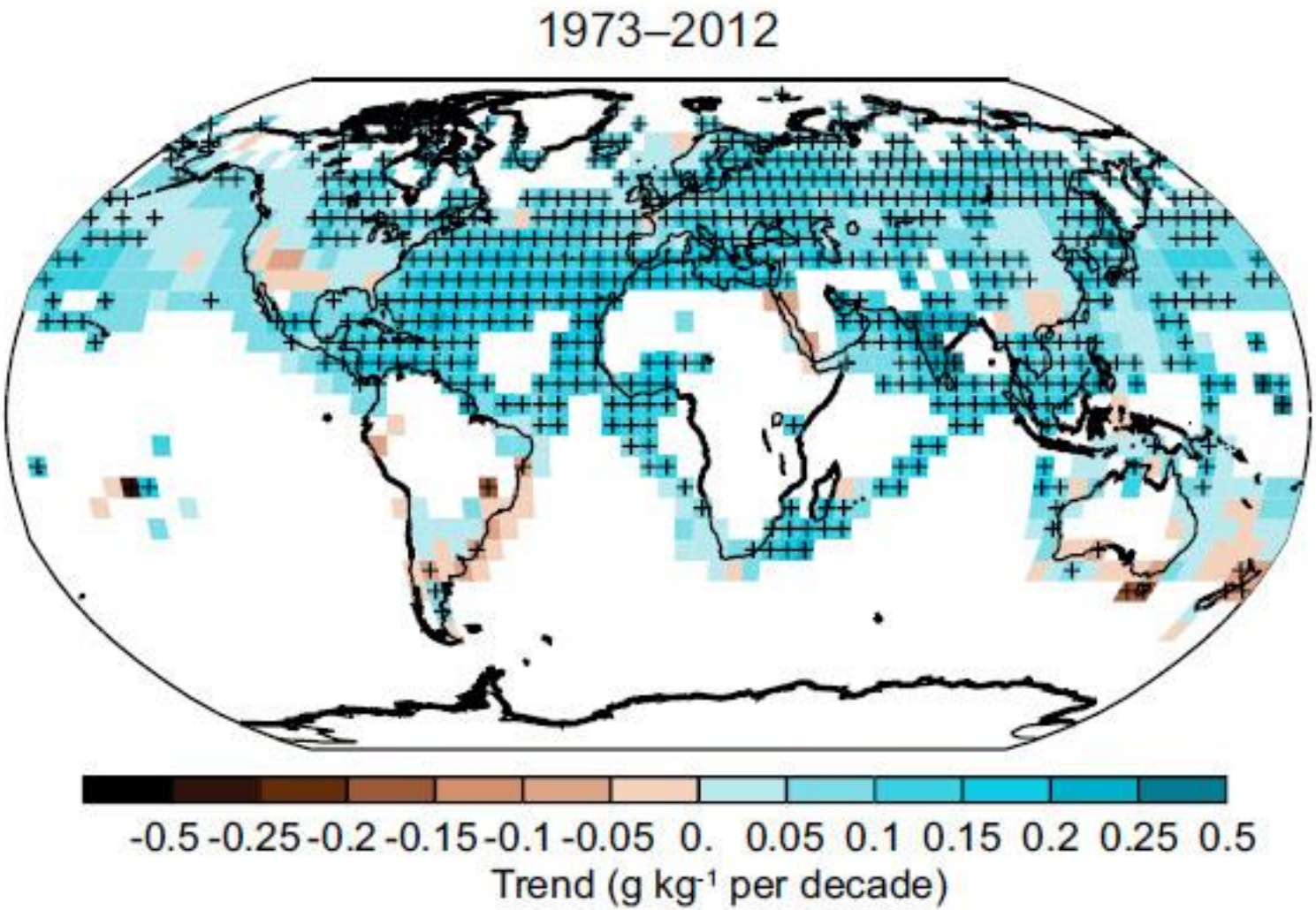
* 1979-2003年平均に対する相対値



(IPCC, 2013; 第5次報告書)

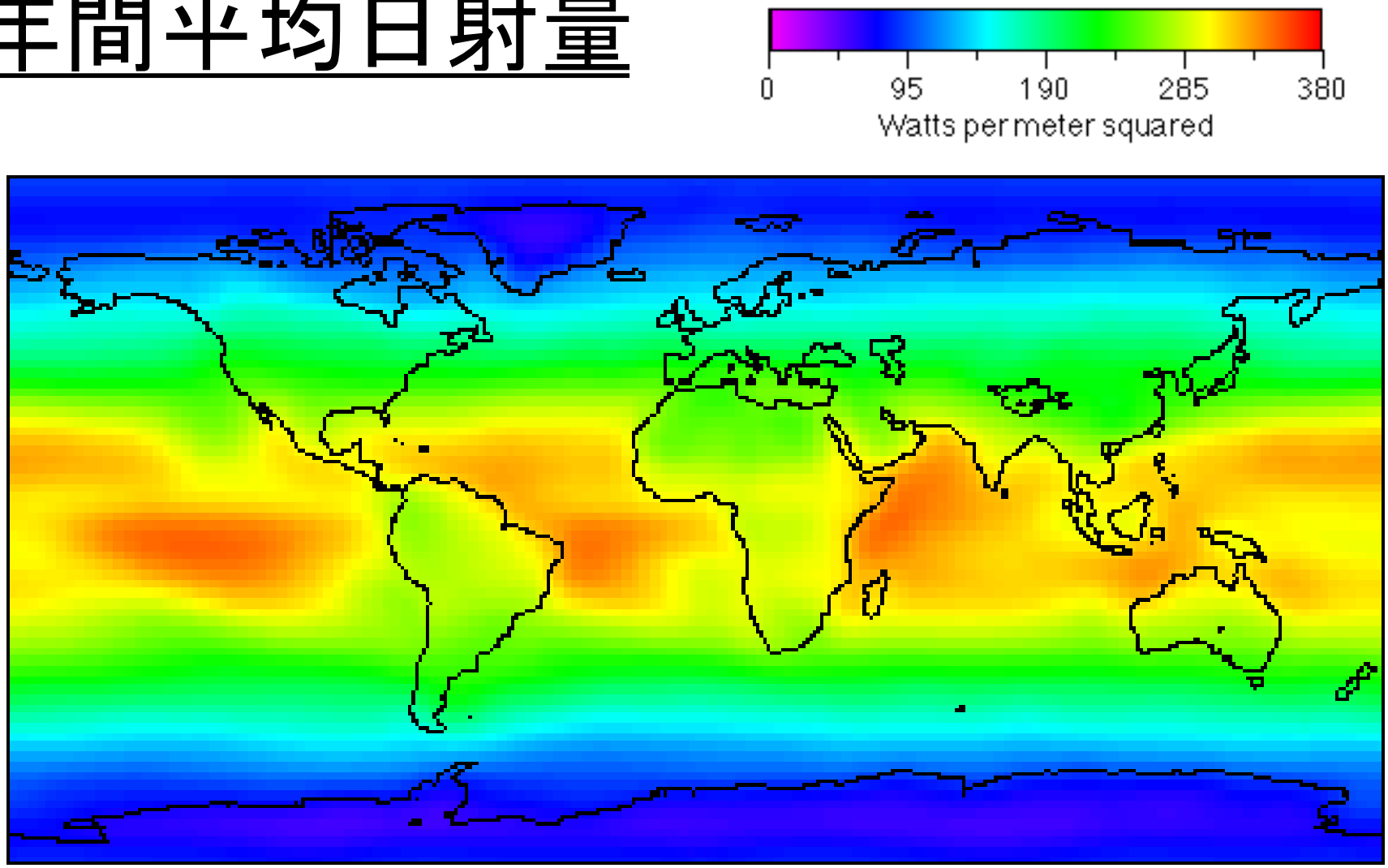
全球の比湿

* 1979-2003年平均に対する相対値



(IPCC, 2013; 第5次報告書)

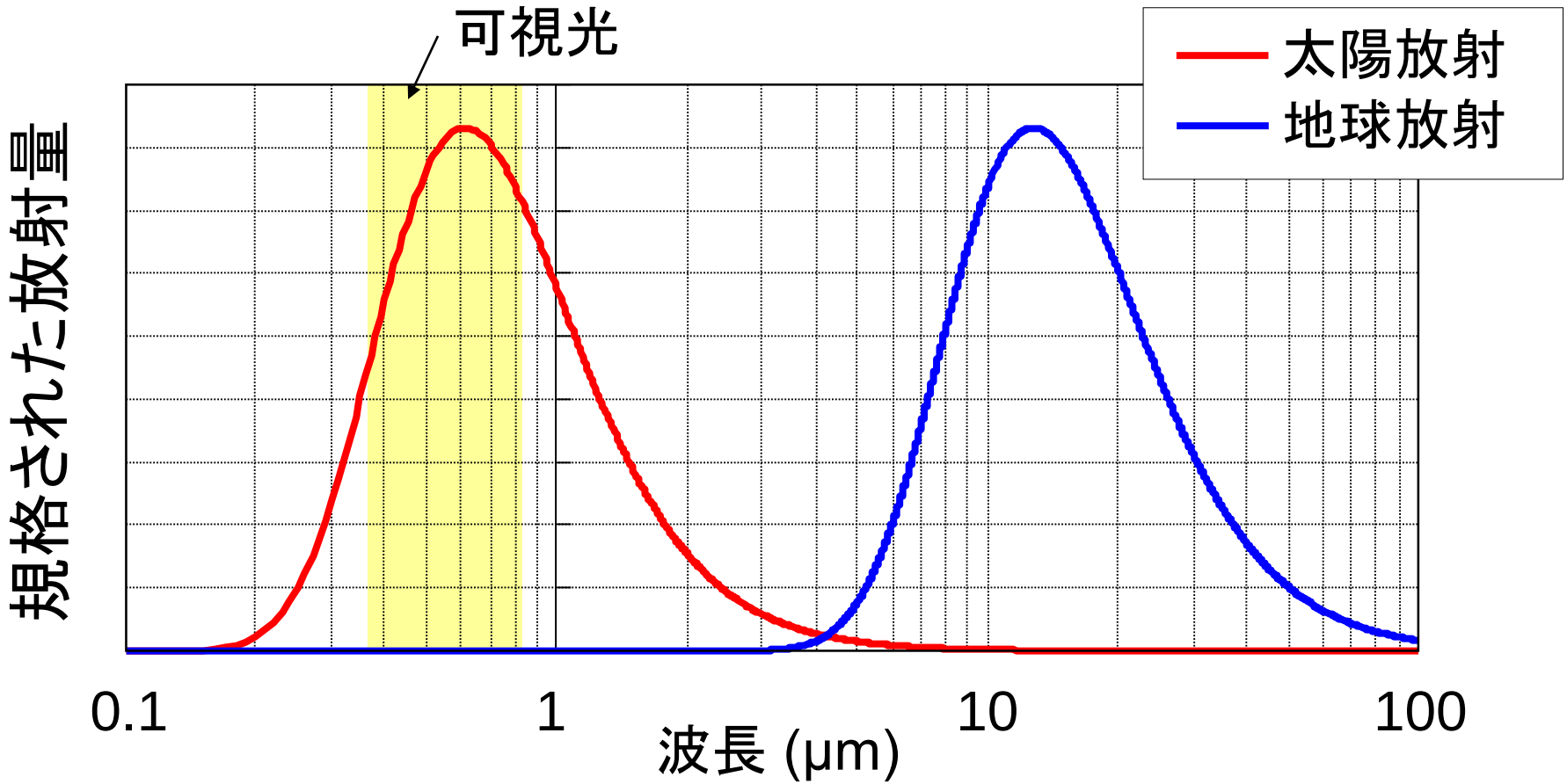
年間平均日射量



http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7g.html

滋賀県京都大学実験林 2004 4. 12
日射計
EIKO MS1

日射（太陽放射・短波放射）とは



$W\ m^{-2}\ (J\ m^{-2}\ s^{-1})$

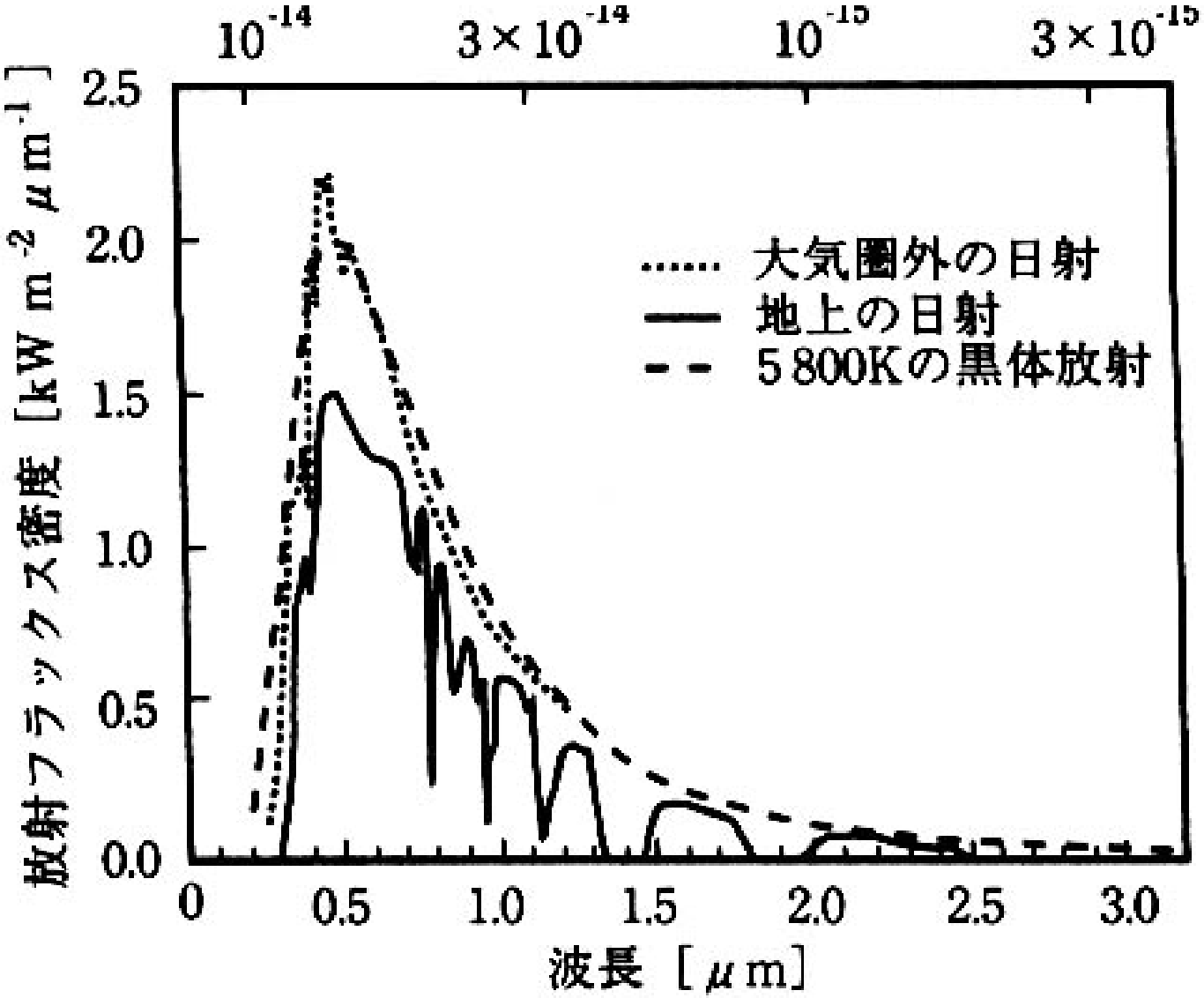


図3.1　地上の日射スペクトル（Graedel, Crutzen, 1993）

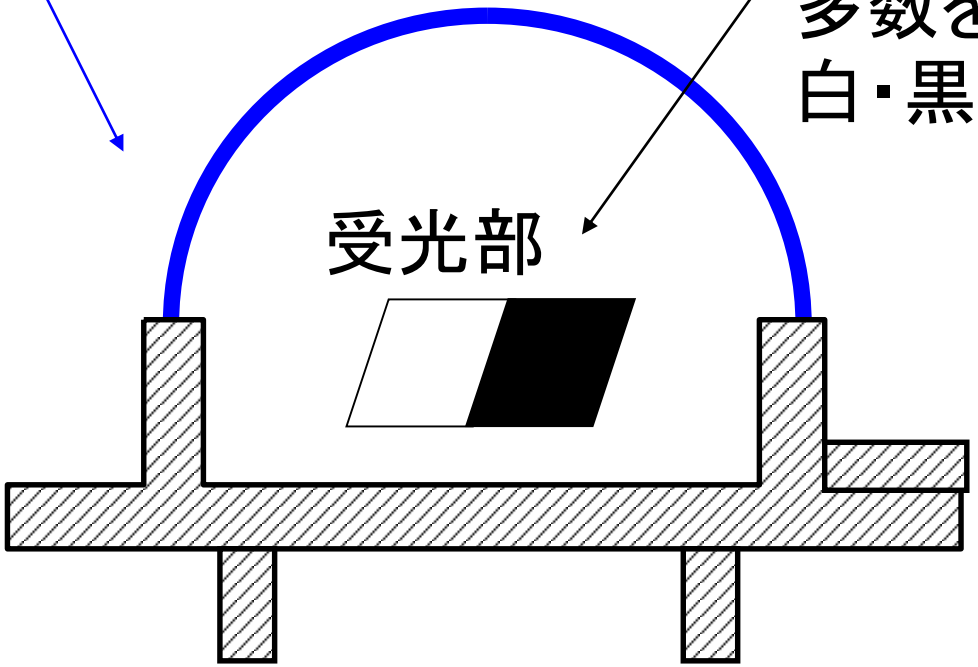
日射計の構造

ガラスドーム

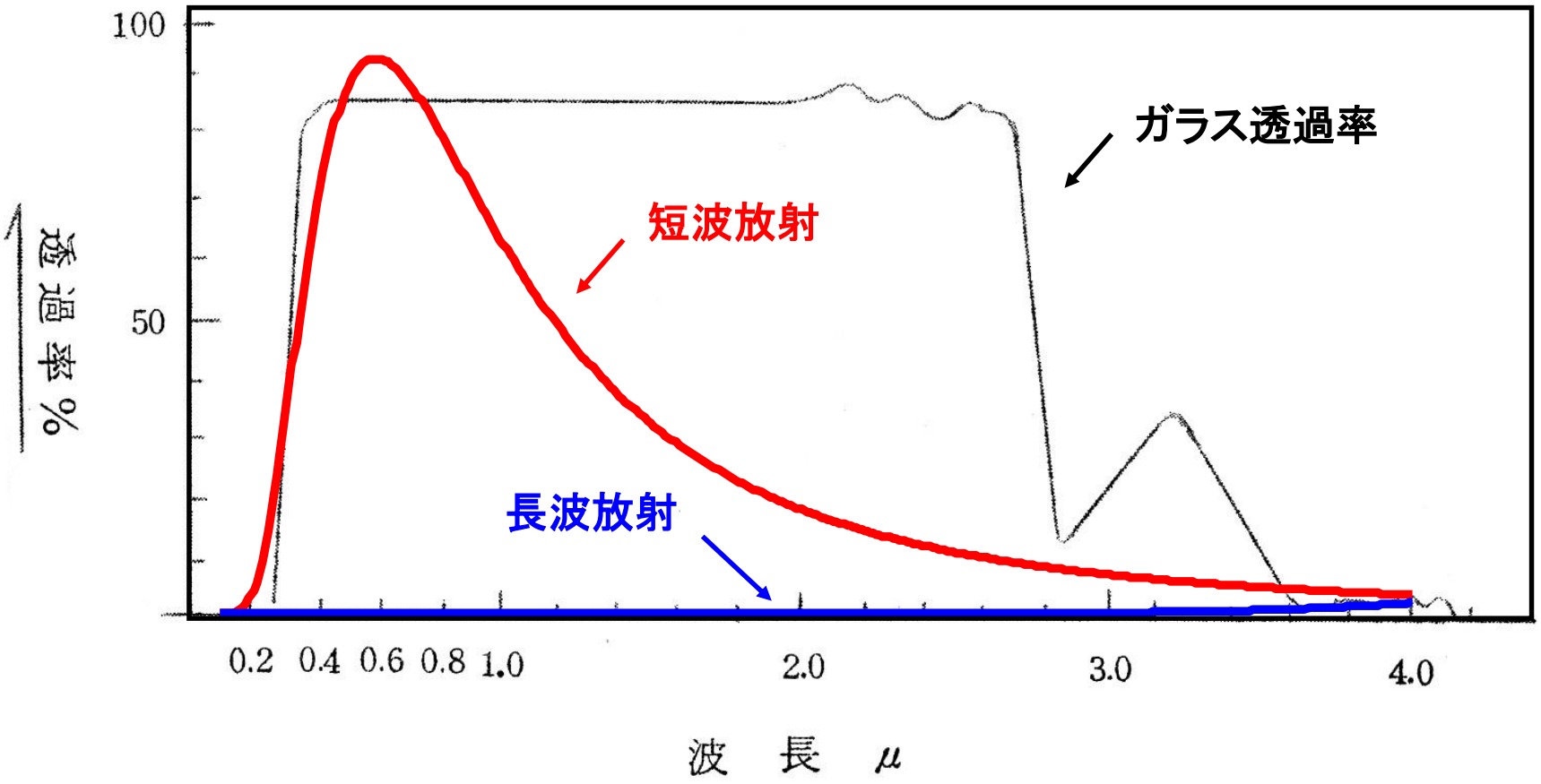
1）風の影響を防ぐ
2）長波放射の遮断

熱電堆

多数を直列した熱電対により
白・黒の温度差を計測



ドーム状；半球の全方向からの放射を受けるようにするため



日射計で使用するガラスの波長特性

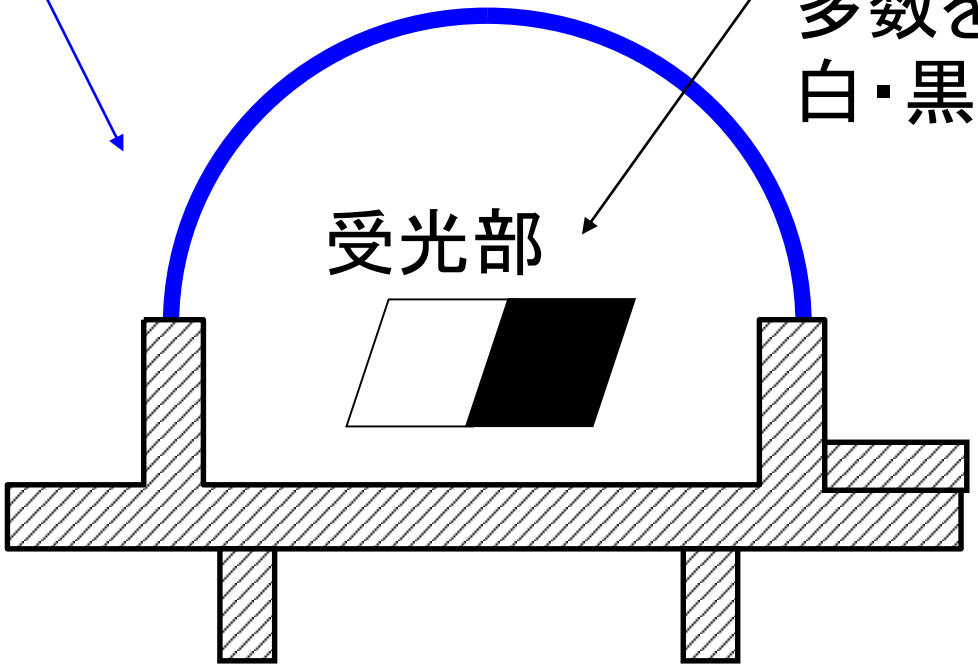
日射計の構造

ガラスドーム

1）風の影響を防ぐ
2）長波放射の遮断

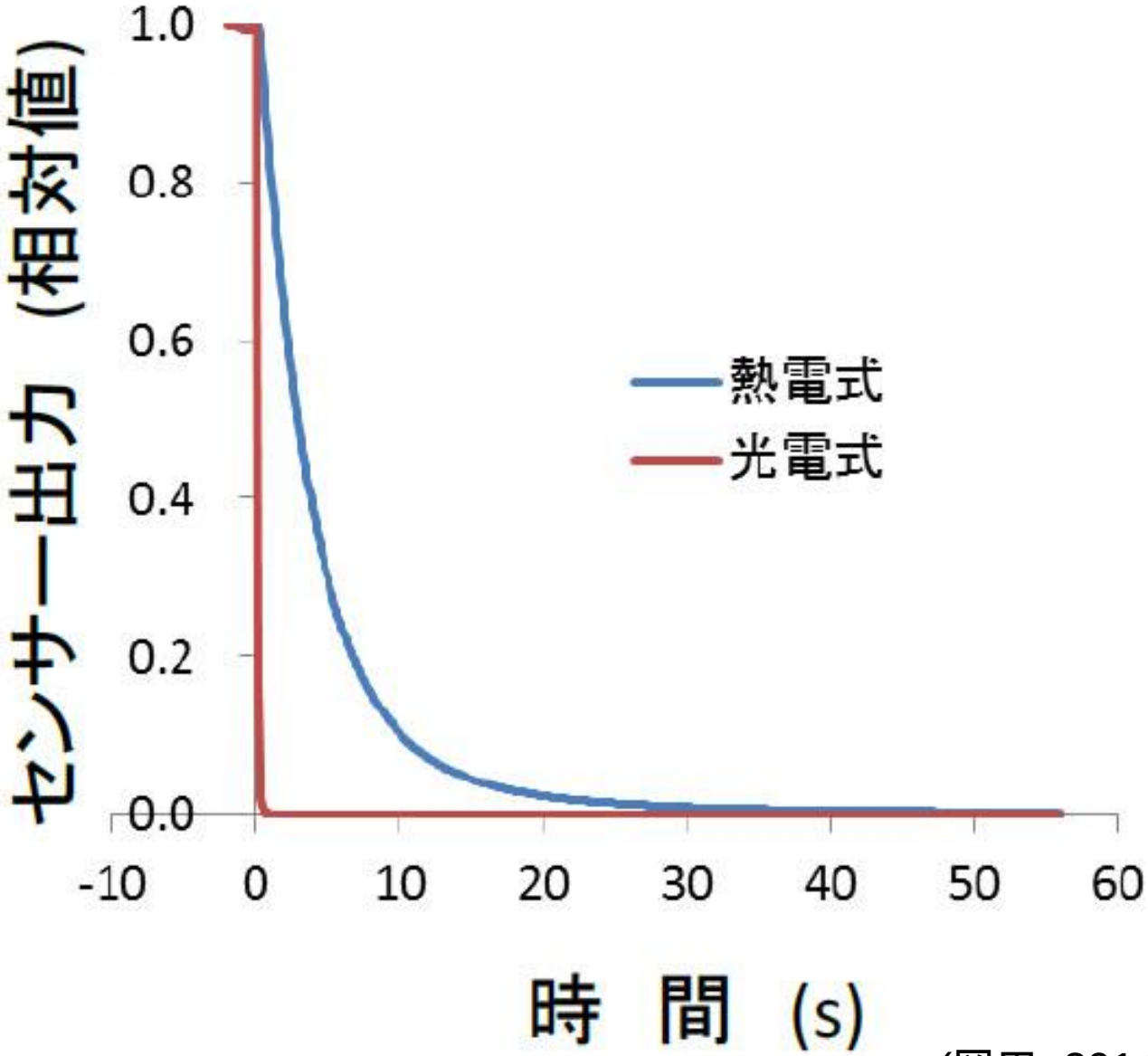
熱電堆

多数を直列した熱電対により
白・黒の温度差を計測



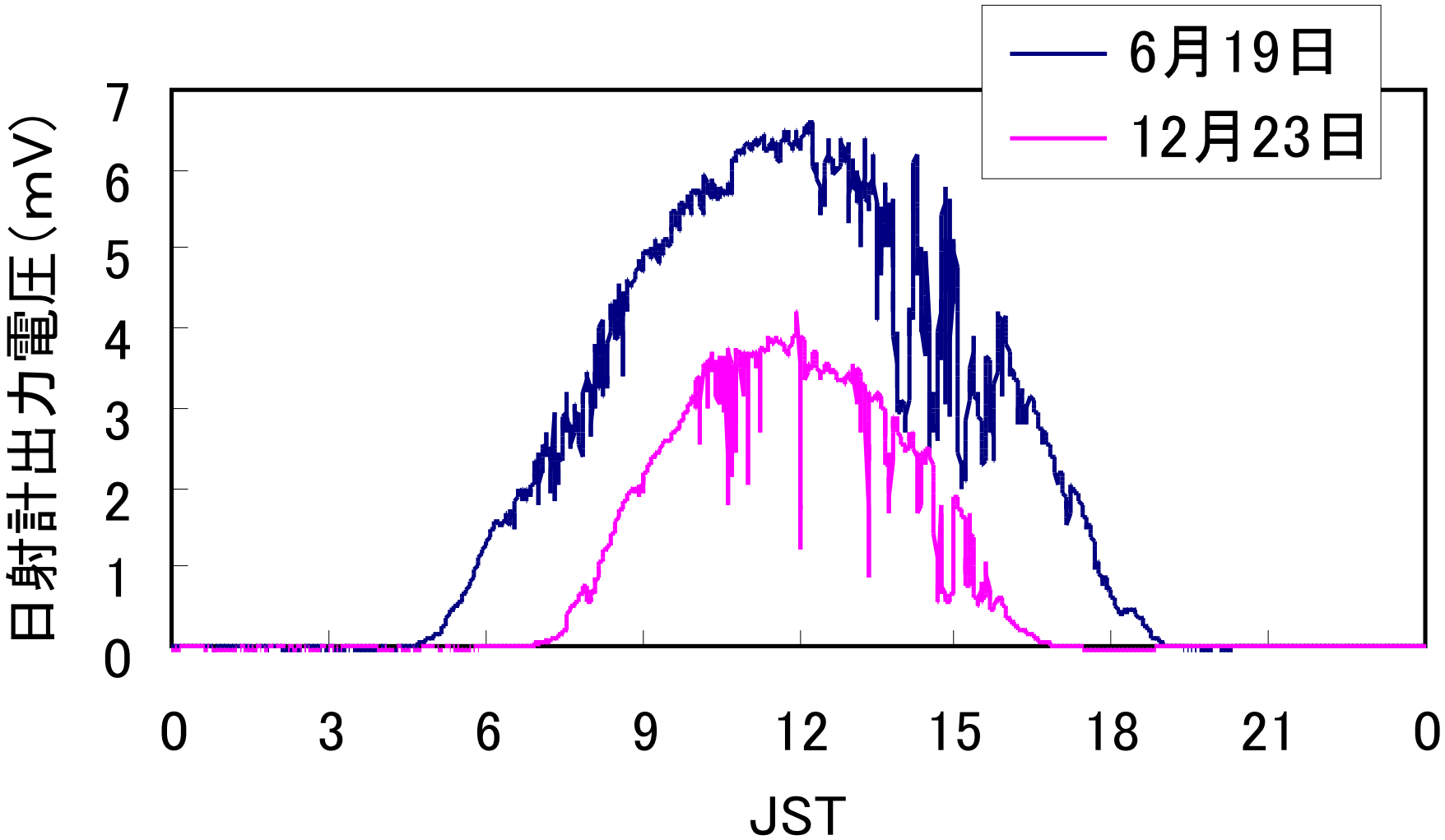
ドーム状；半球の全方向からの放射を受けるようにするため

時間0でランプを消灯



(岡田, 2014; 生物と気象)

夏季と冬季の全天日射量の比較

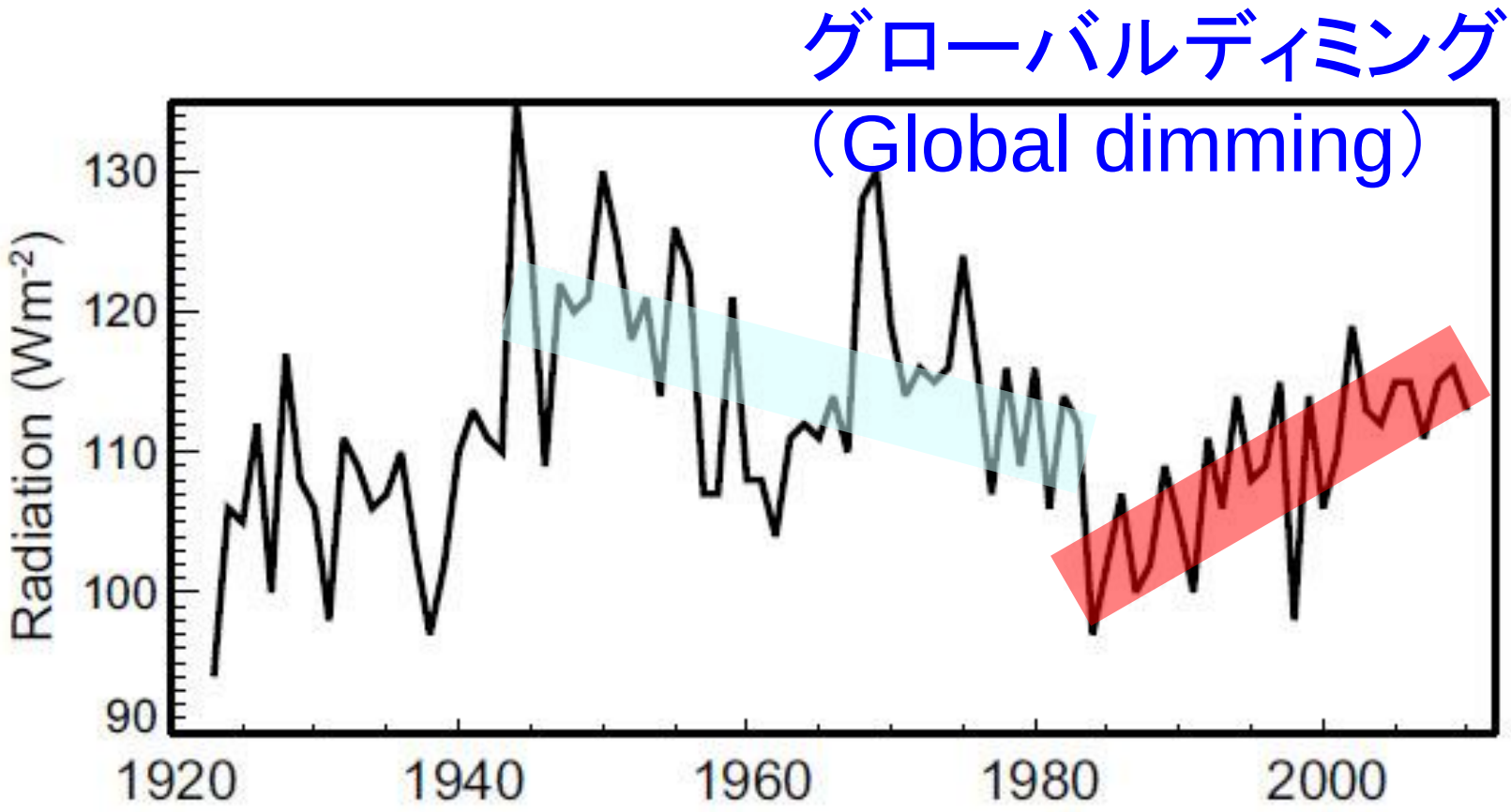


（2002年）

日射量は変化しているでしょうか？

- ☑ してる
- ☑ していない
- ☑ 分からない

日射量の長期的な推移



ストックホルムでの観測例

(IPCC, 2013; 第5次報告書)

復習事項

- ☑ 気象観測機器とその原理
- ☑ 気象変量の意味
- ☑ 気候変化

引用・参考文献

IPCC, 2013; 第5次報告（Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J. Dlugokencky, D.R. Easterling, A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild and P.M. Zhai, 2013: Observations: Atmosphere and Surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the I ntergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.）

近藤純正, 1994: 水環境の気象学 –地表面の水収支熱収支-, 朝倉書店, 350pp.

近藤純正 (2000), 地表面に近い大気の科学 理解と応用. 東京大学出版会, 東京, 324pp.

日本農業気象学会 (1997), 新訂　農業気象の測器と測定法. 農業技術協会, 東京, 345pp.

岡田益己 (2014), 日射量・光強度の正しい測り方. 生物と気象, 14, A1-3.

岡田益己(2010), 温度の正しい測り方 (1)温度計の校正. 生物と気象, 10, A3.

岡田益己(2010), 温度の正しい測り方 (3)熱電対の作り方・使い方. 生物と気象, 10, A4.

岡田益己・中村浩史 (2010), 温度の正しい測り方 (1)通風式放射よけの作り方. 生物と気象, 10, A2.

高見晋一 (2011), 生態環境としての光の計測. 生物と気象, 11, A1-7.

内山素行 (2000), 身近な気象・気候調査の基礎. 古今書院, 東京, 195pp.

文字信貴・平野高司・高見晋一・堀江武・桜谷哲夫, 1997: 農学・生態学のための気象環境学, 丸善株式会社, 199pp.