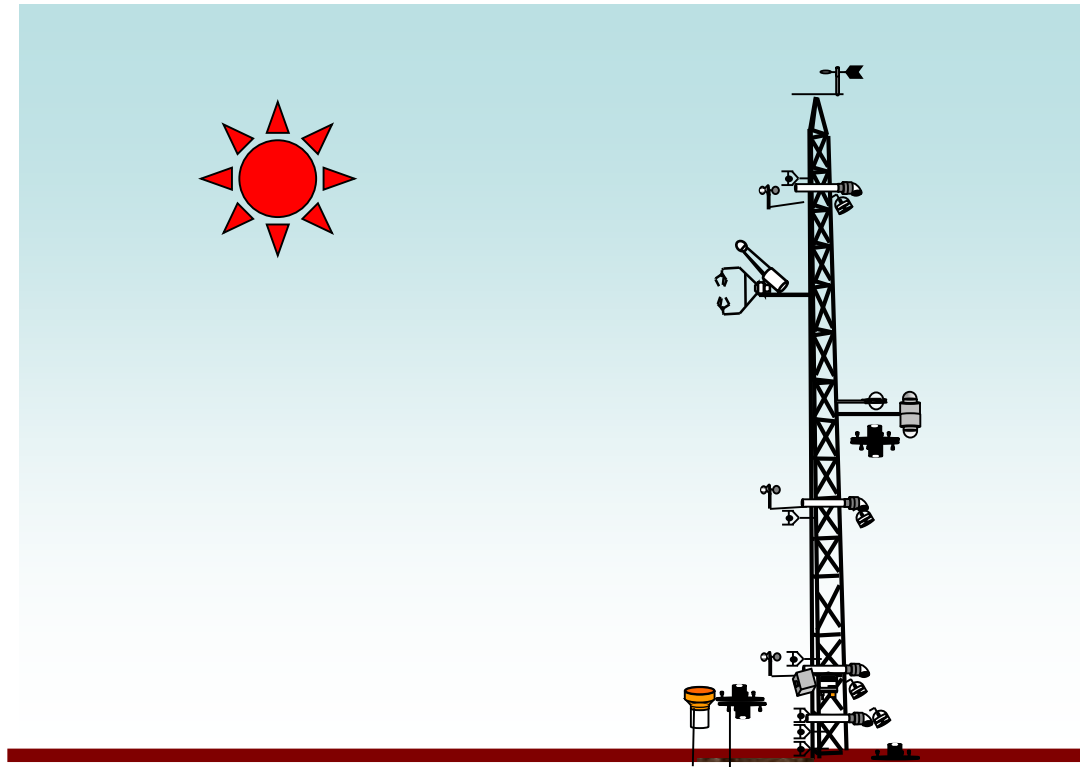
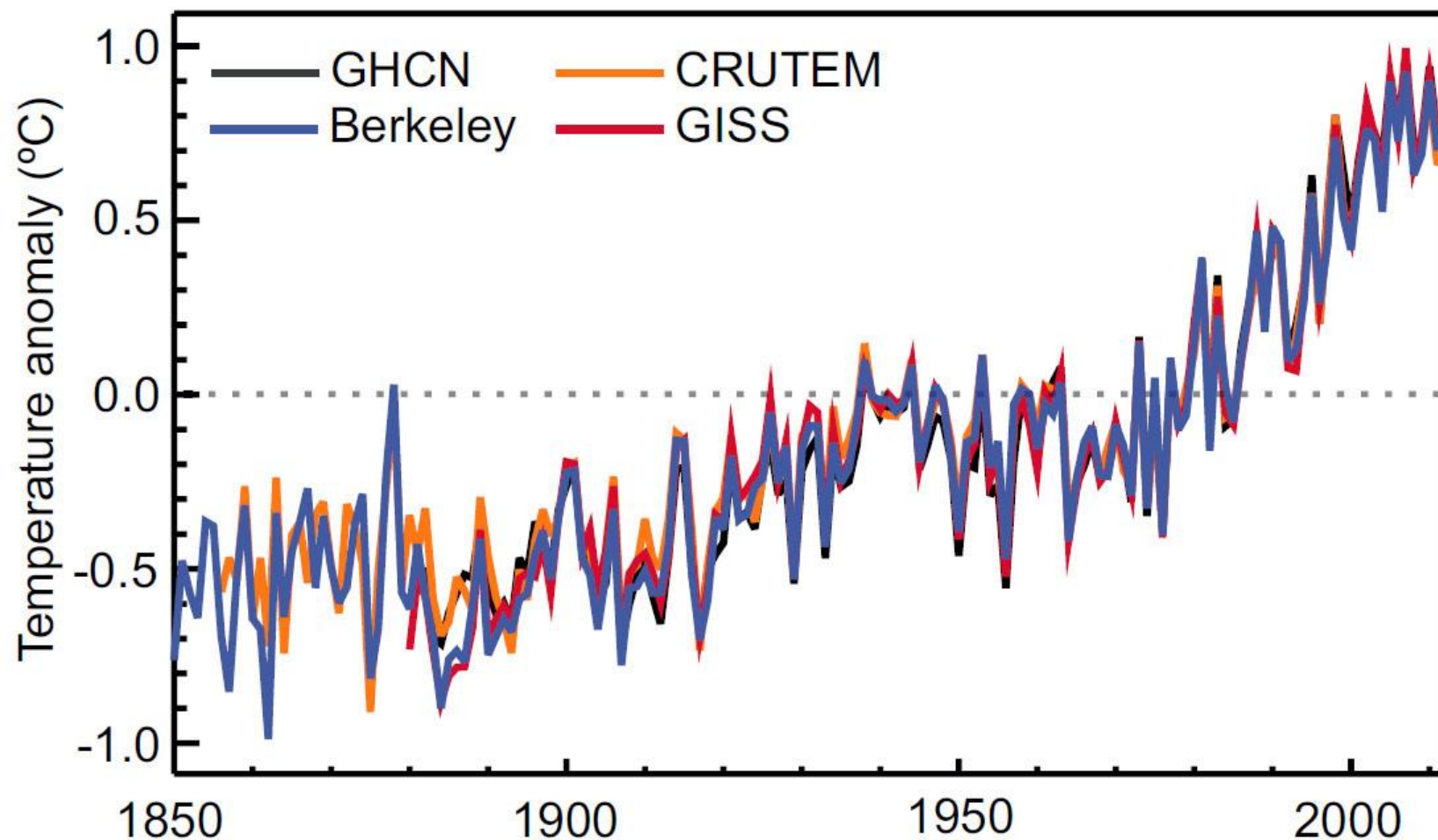


生態系物質循環と計測デザイン



全球の気温

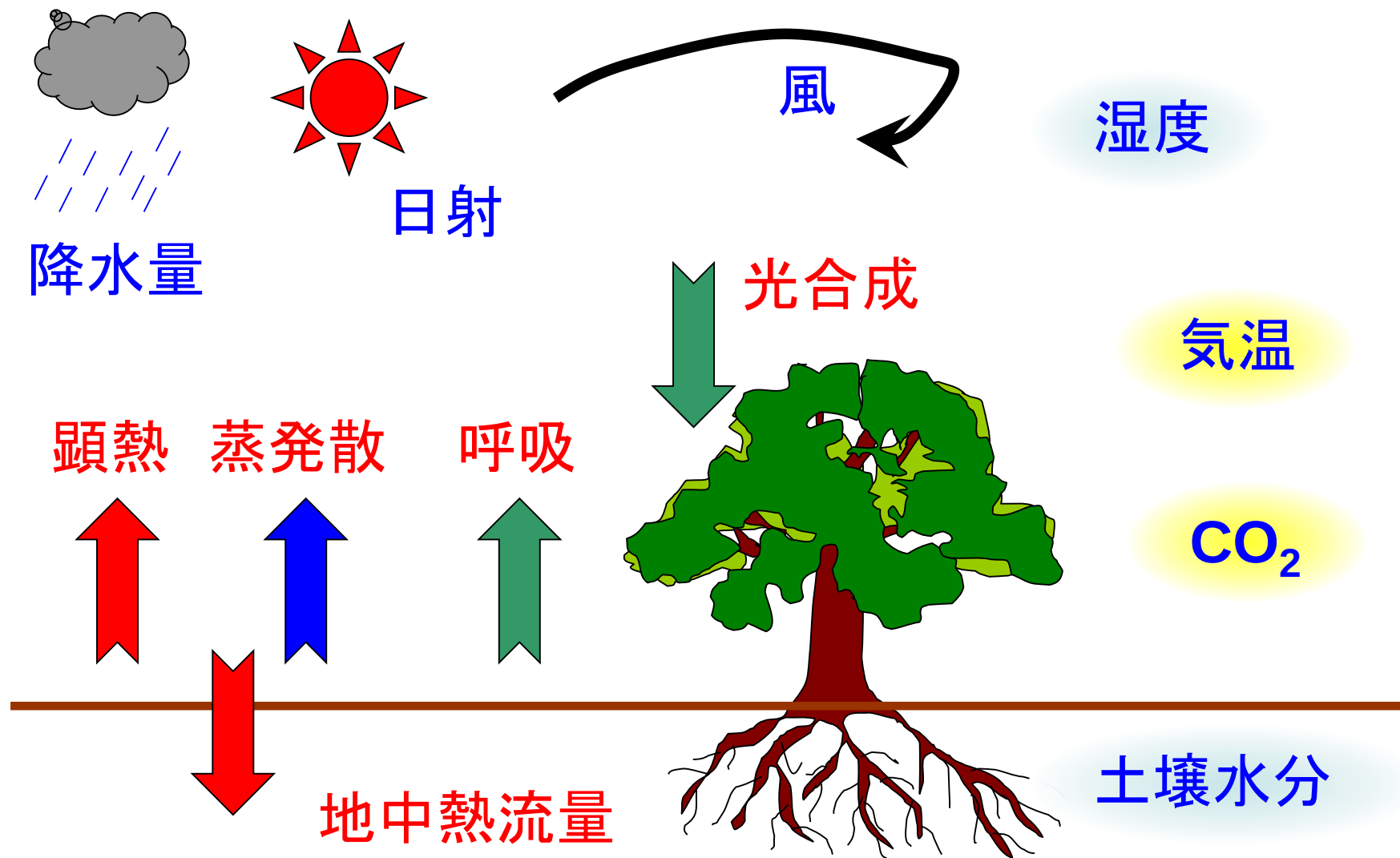
* 1961-1990年平均に対する相対値



環境変動は

- 生態系にどのように影響？
(生態系が環境に影響？)
- それをどうやって評価するか？

生態系をとりまく物理・化学環境

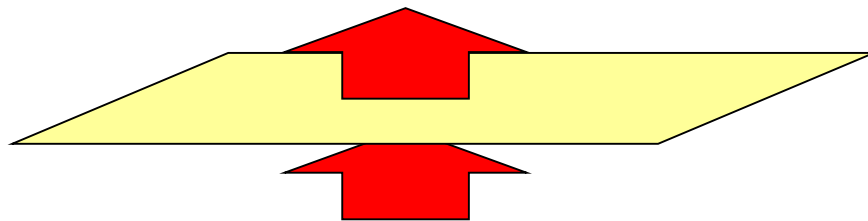


フラックスとプール

フラックス (Flux)

熱、物質など物理量がある面積を通して輸送される量
単位面積、単位時間当りに輸送される量

(農業気象学用語解説集, 1997)



顕熱フラックス、潜熱フラックス、地中熱流量
光合成速度、呼吸速度、CO₂フラックス など

フラックスとプール

大気プール

フラックス

フラックス

植物プール

フラックスとプール

フラックス : 輸送量
プール : 蓄積量

大気プール
700

フラックス 60

植物プール
710

大気 762 Pg

純光合成
60 (Pg y⁻¹)

植物 650 Pg

枯死
60 (Pg y⁻¹)

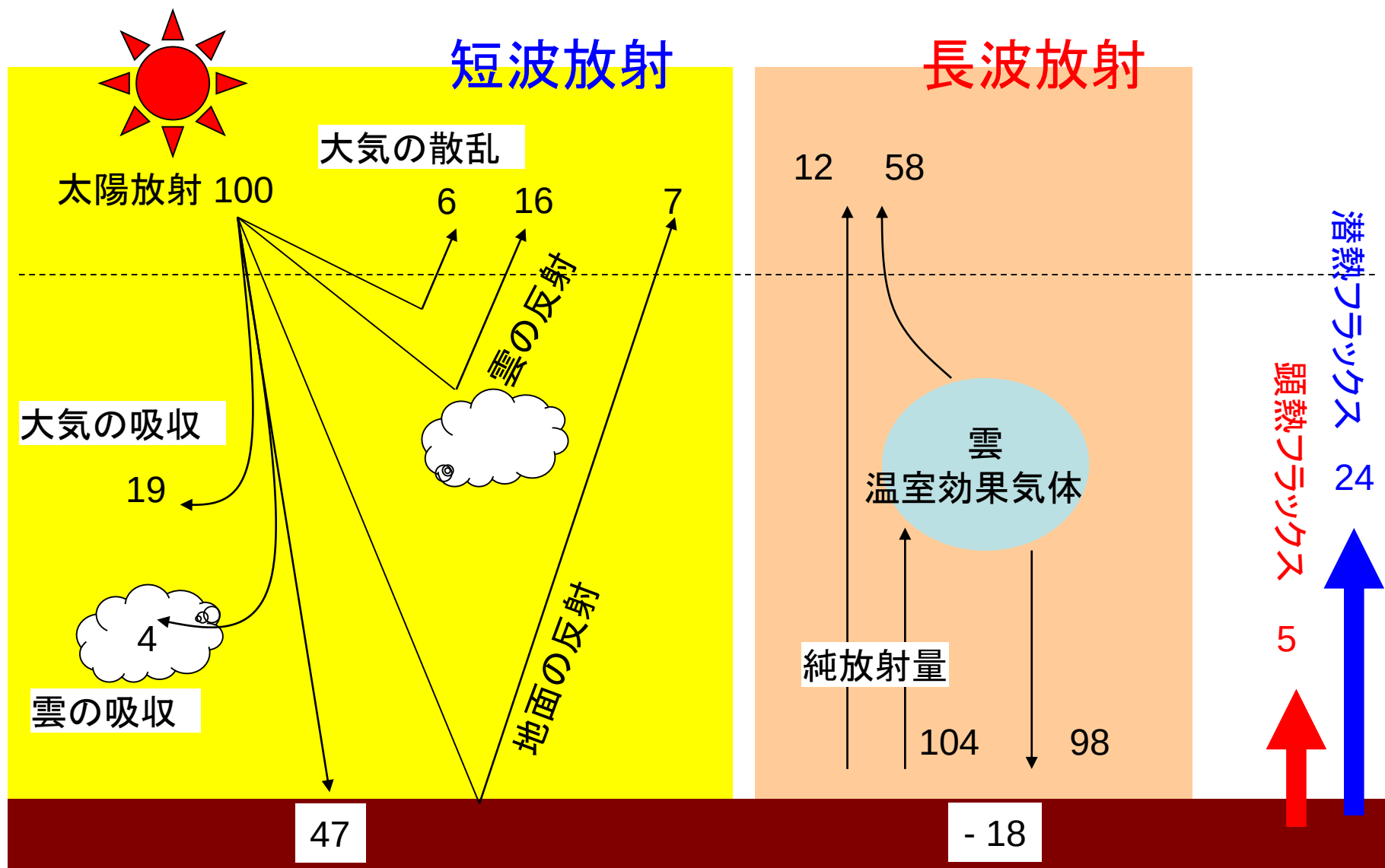
土壌 1500 Pg

分解
56 (Pg y⁻¹)

全球での炭素循環の一部
(Chapin et al., 2012)

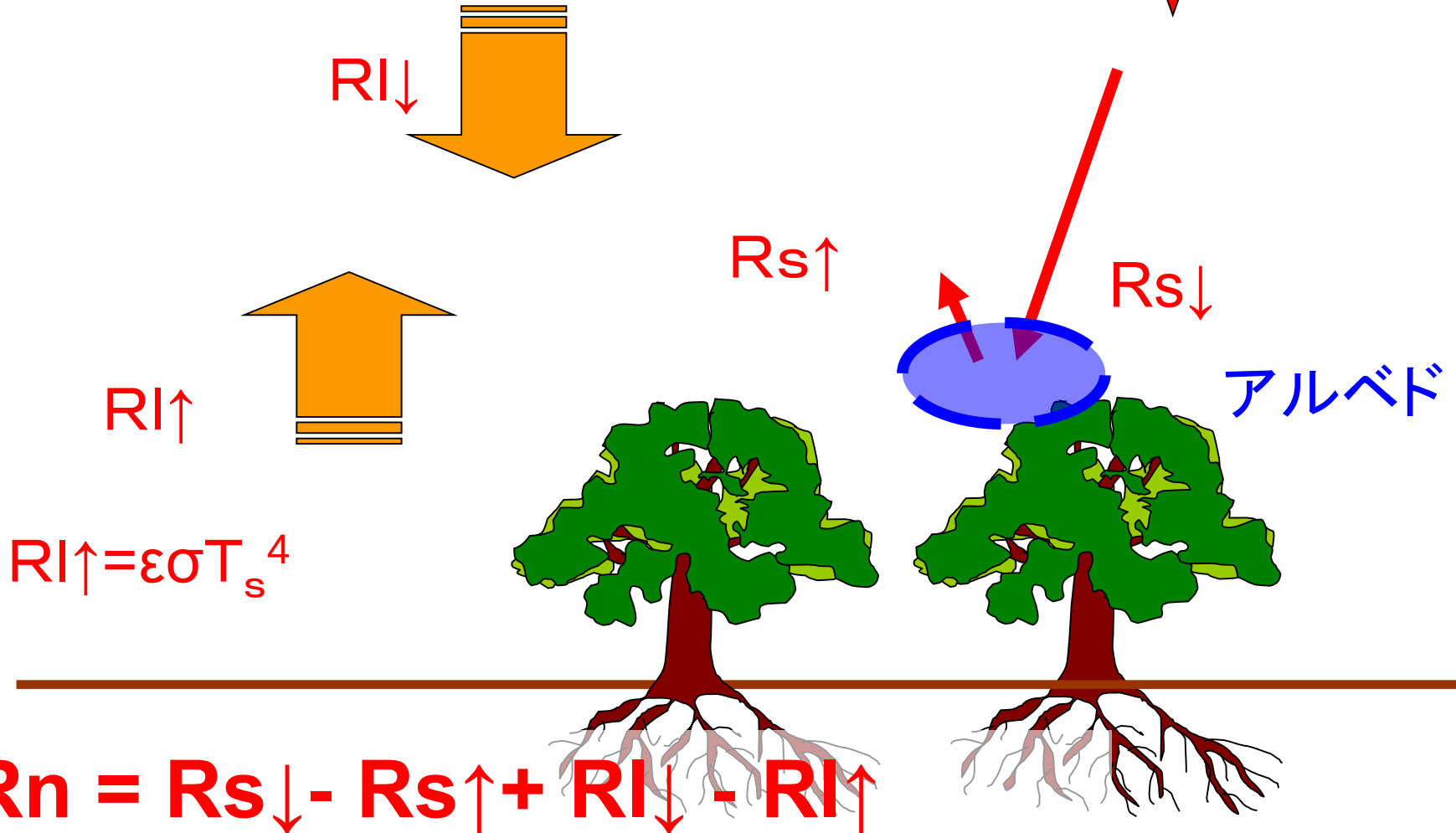
大気－生態系間のエネルギーの流れ

地球のエネルギー収支



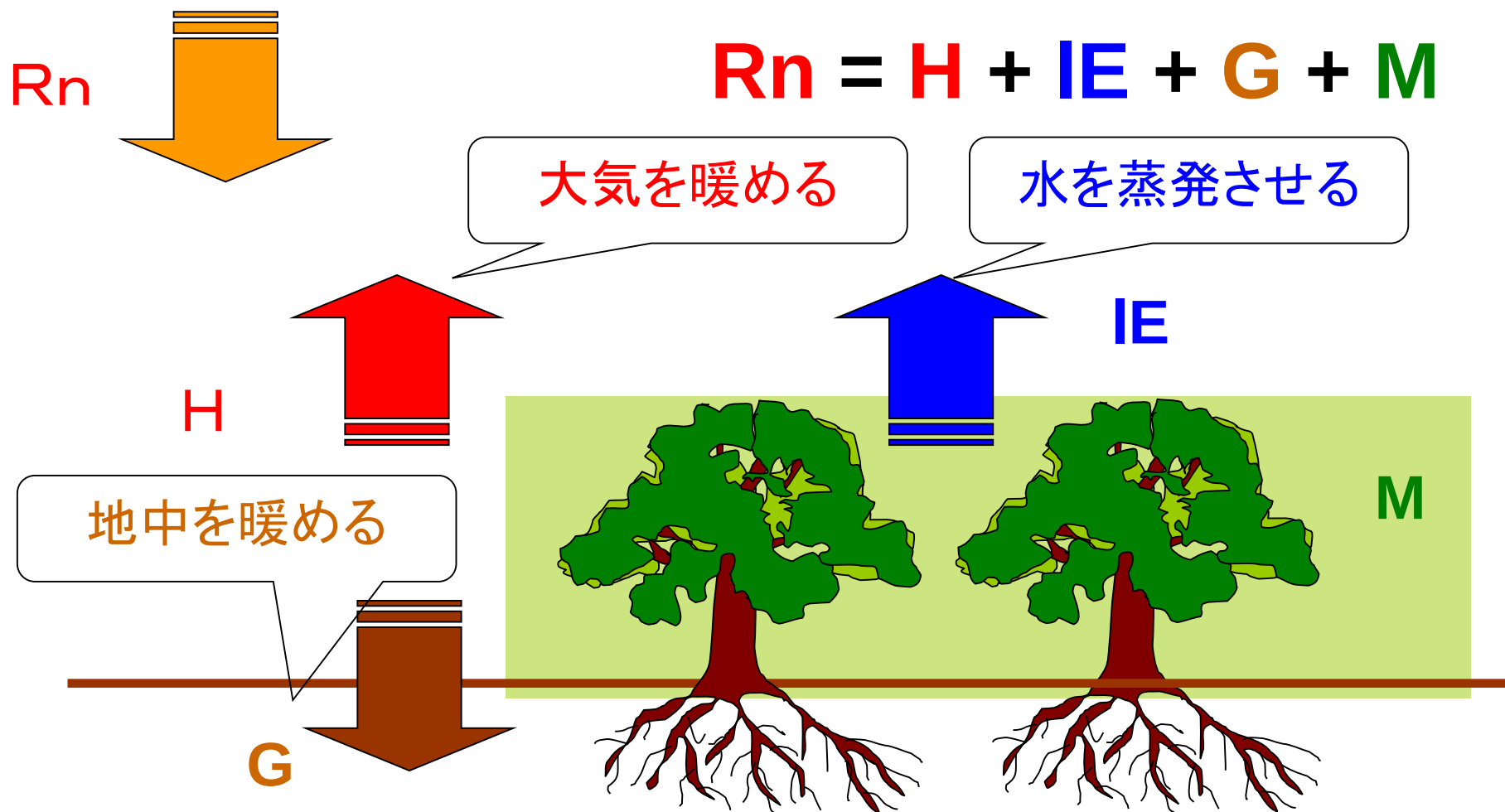
生態系における放射収支

ステファン・ボルツマンの法則 $RI_{\downarrow} = \sigma T_b^4$

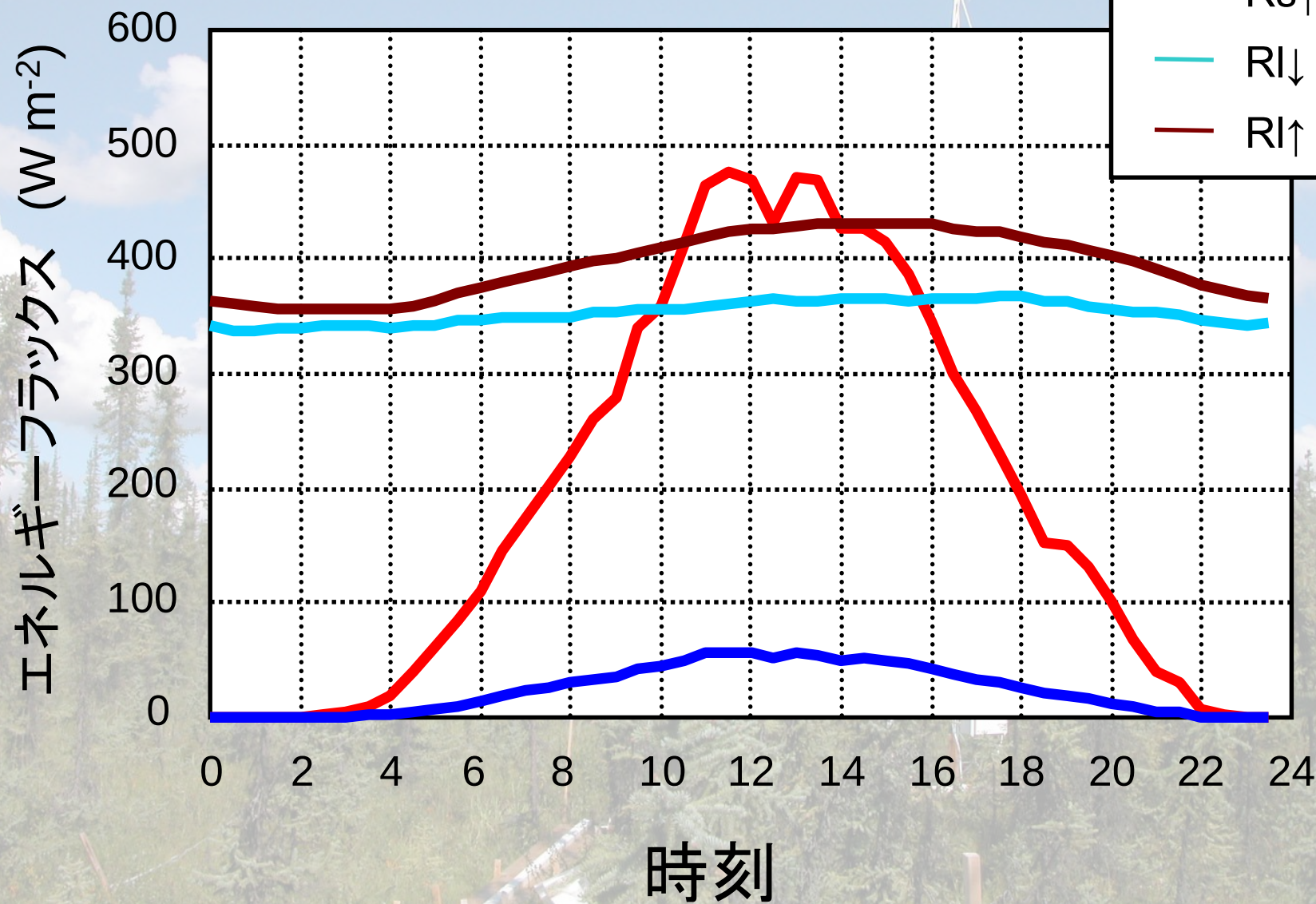


生態系におけるエネルギー収支

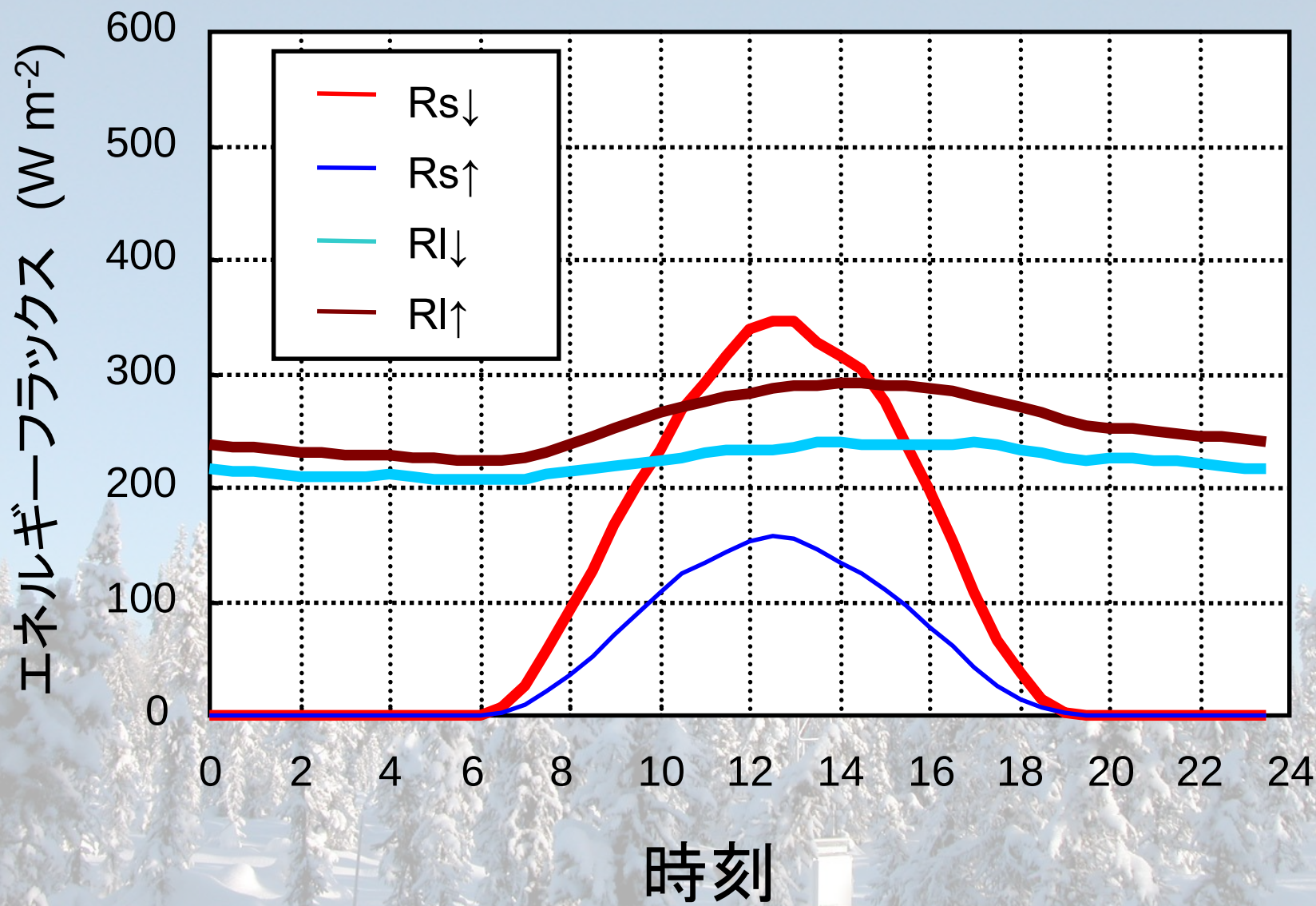
分配の割合は植生・気象・気候条件によって異なる。



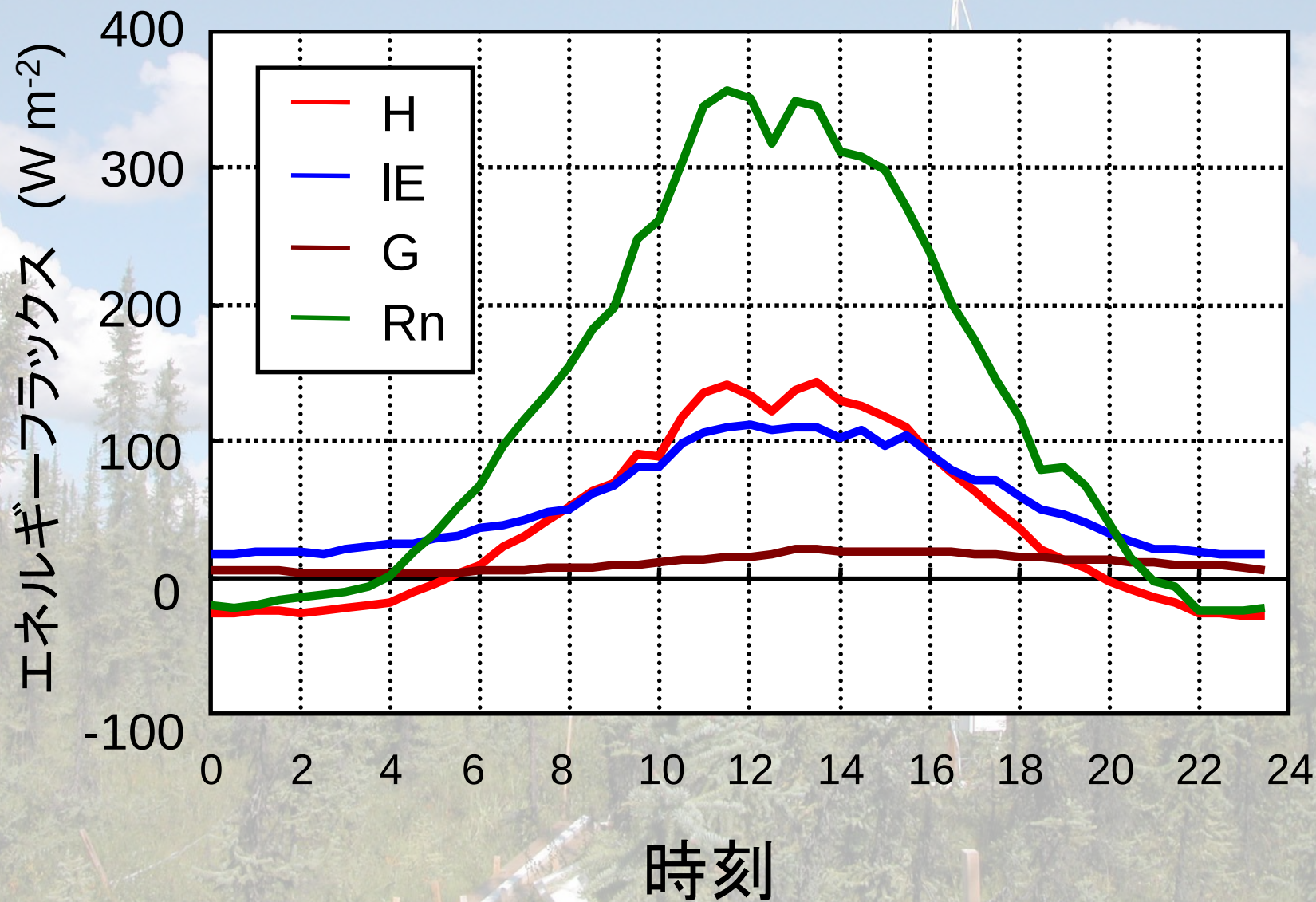
高緯度(アラスカ)の森林 : 7月



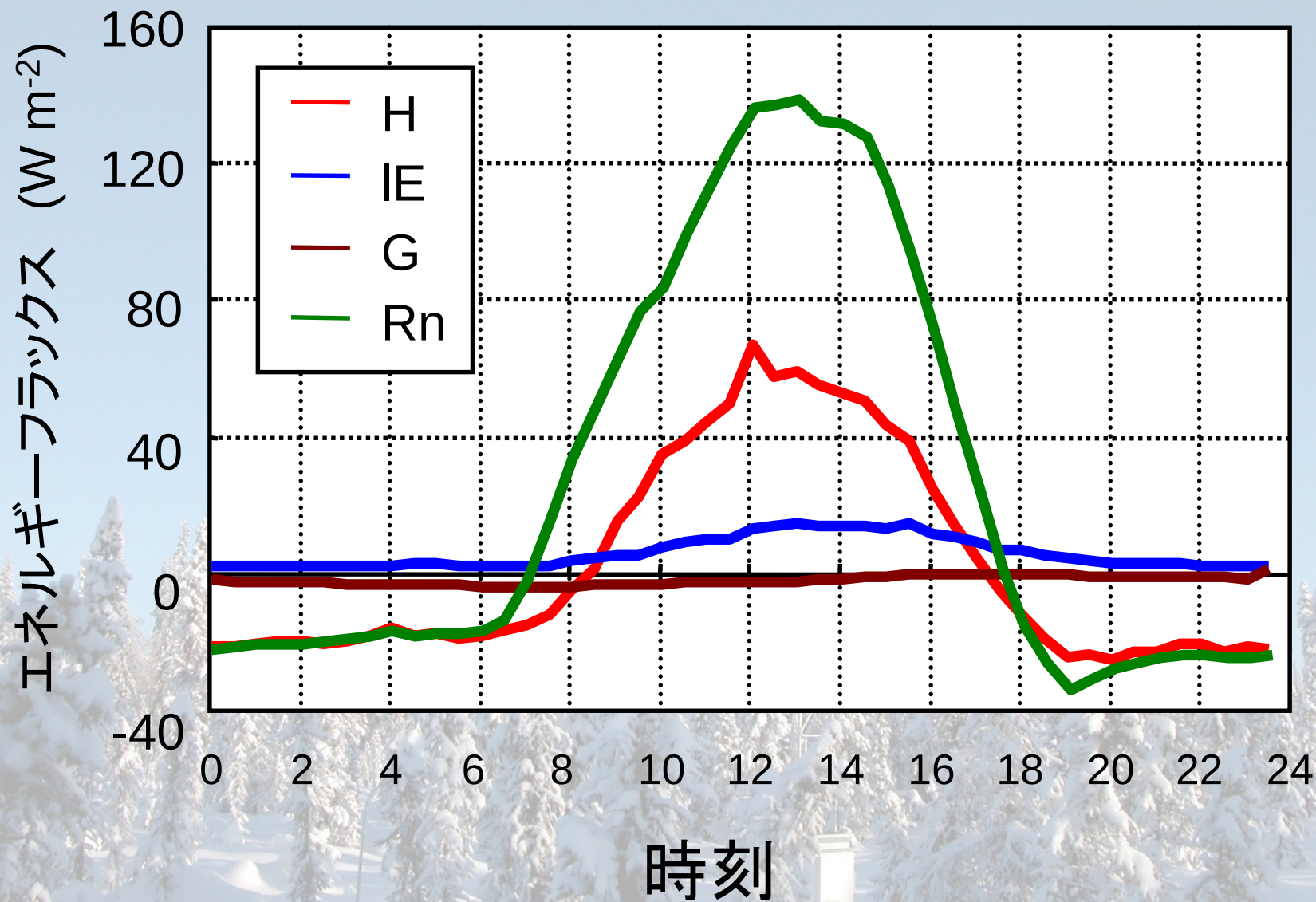
高緯度(アラスカ)の森林 : 3月



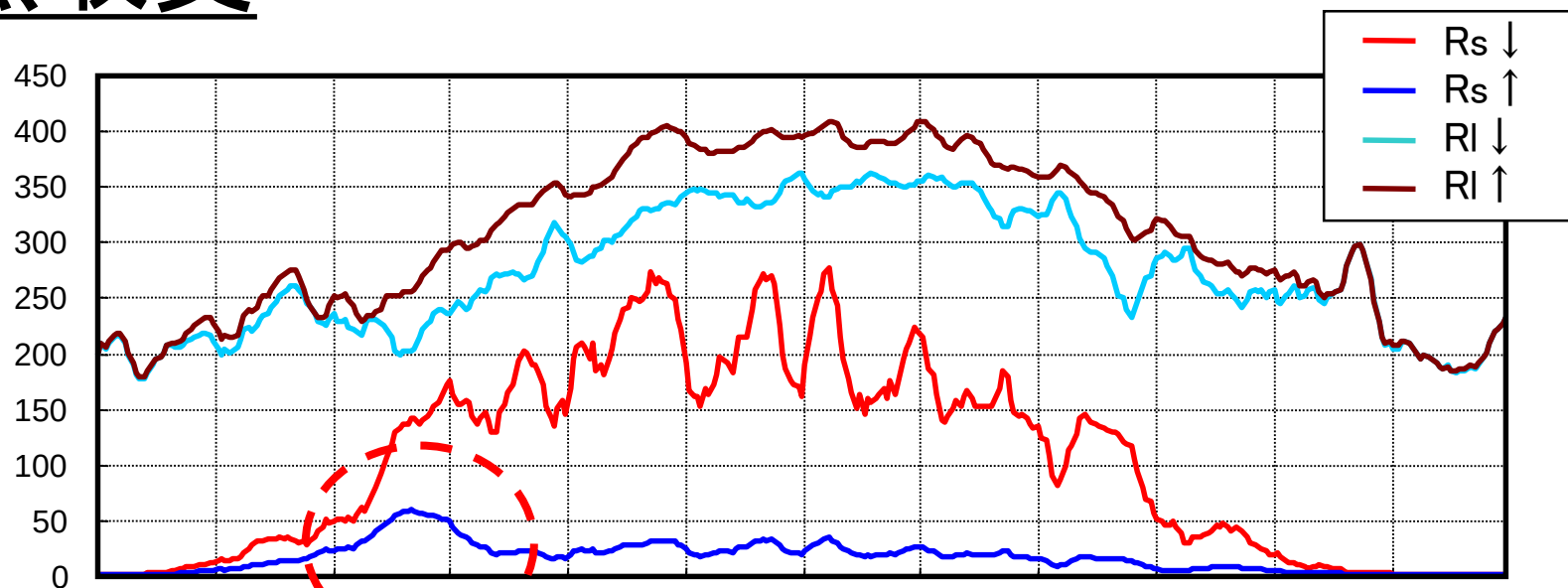
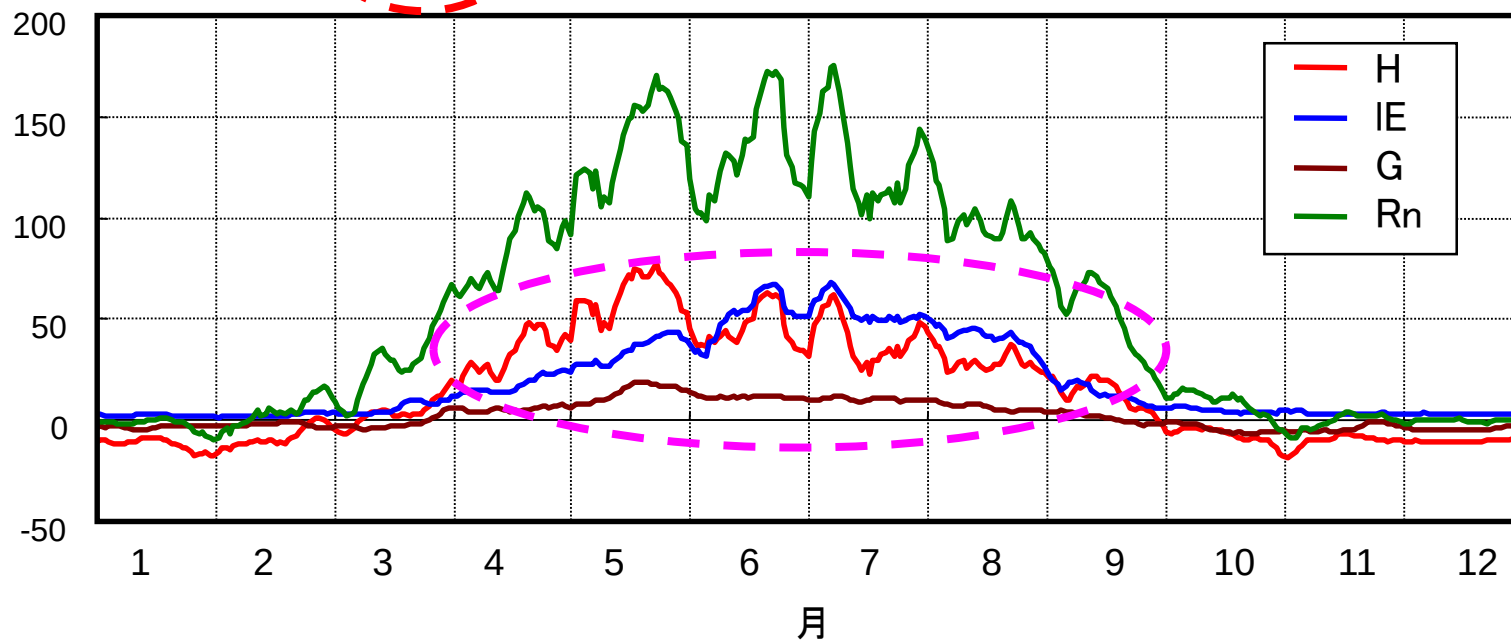
高緯度(アラスカ)の森林 : 7月



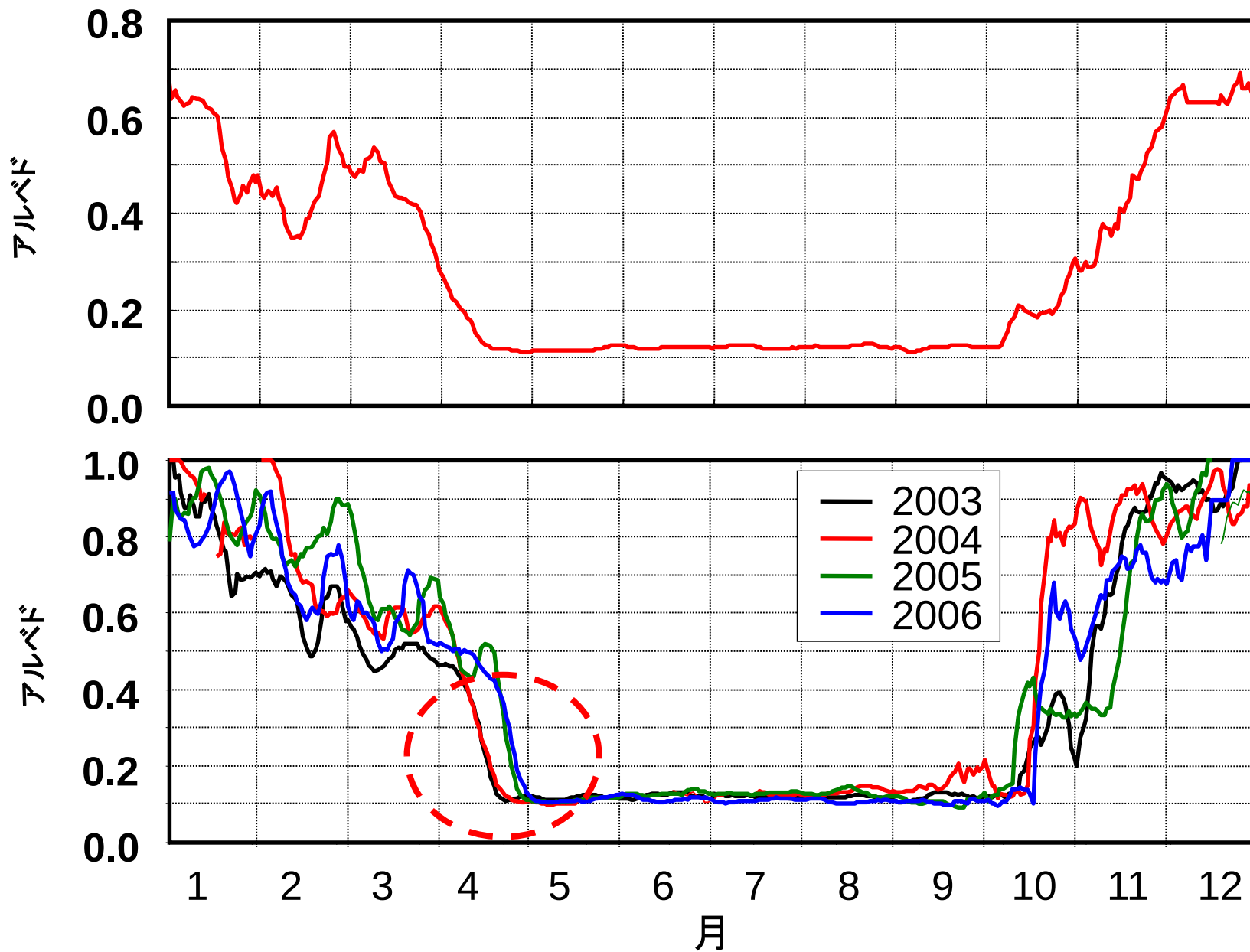
高緯度(アラスカ)の森林 : 3月



熱収支

エネルギーフラックス (W m^{-2})エネルギーフラックス (W m^{-2})

アルベド



アルベド

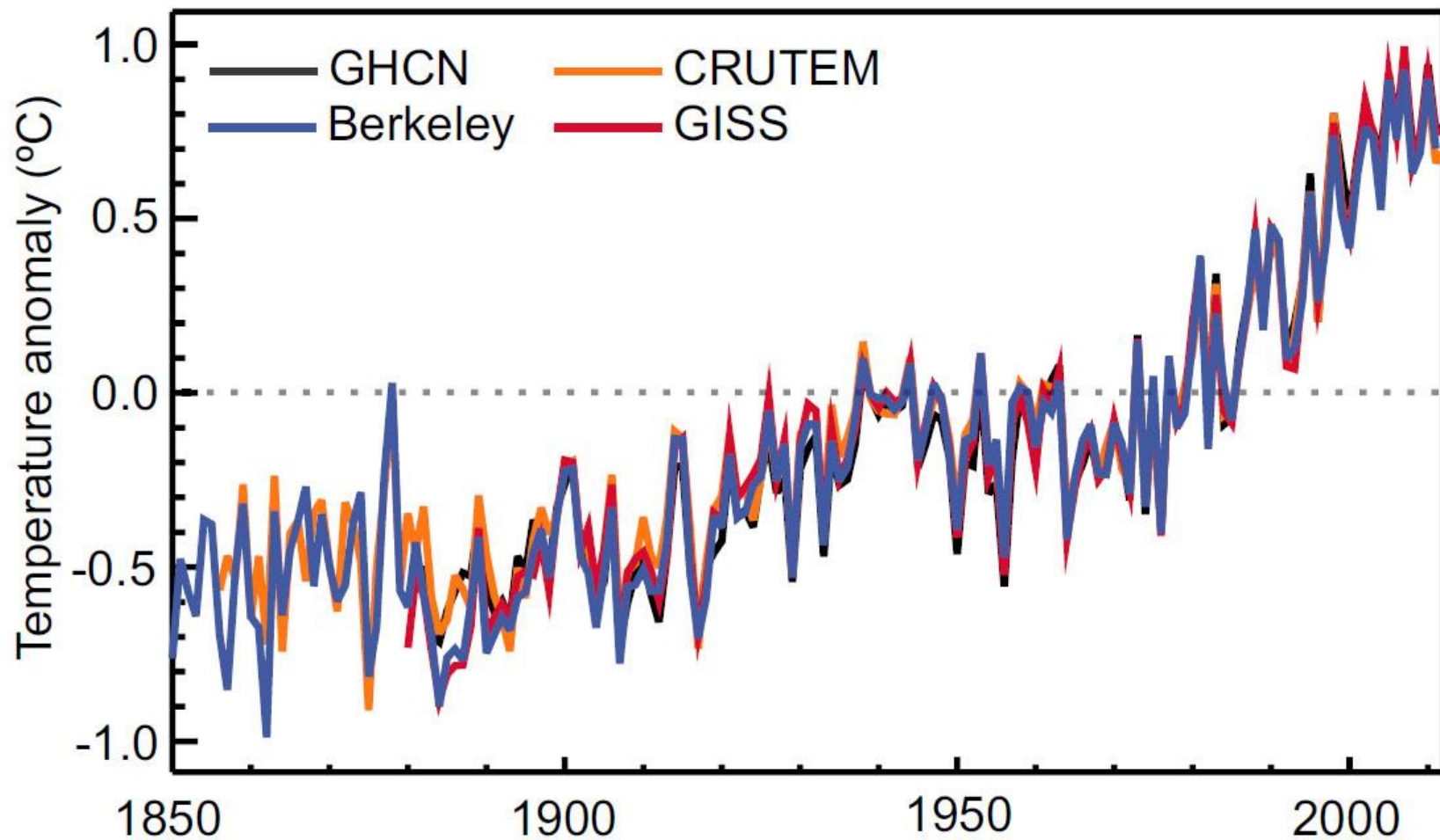
表 1.2 アルベードの概略値

地表面	アルベード (%)	地表面	アルベード (%)
水 面	2～10	裸地（乾燥）	20～35
森 林	3～15	砂 地	15～30
草地（みどり）	10～20	砂 漠	25～40
草 地	20～25	雪（旧）	40～70
畑	15～25	雪（新）	70～90
裸地（湿）	5～15	海洋	7

(近藤, 1994)

全球の気温

* 1961-1990年平均に対する相対値



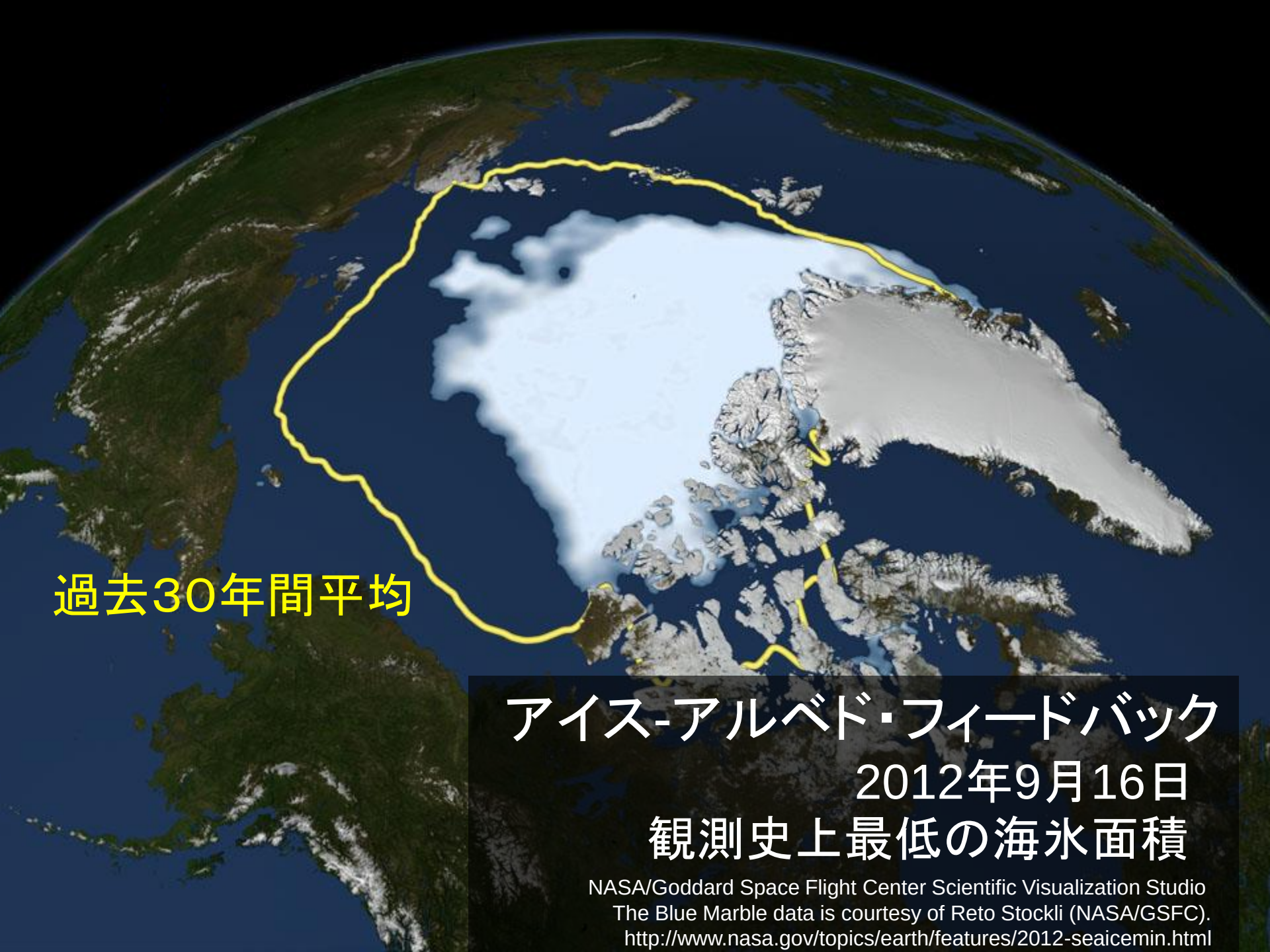
A satellite map of North America, showing the United States and Canada. The map is color-coded to represent snow and ice cover, with white and light blue areas indicating snow and ice, and green and brown areas indicating land. The map is viewed from a high angle, showing the curvature of the Earth.

アイス-アルベド・フィードバック

2010年4月30日

4月における観測史上最低の雪氷面積
(2016年により最低が記録された)

http://www.nrml.noaa.gov/MediaDetail.php?MediaID=413&MediaTypeID=1&sms_ss=blogger&at_xt=4d27e83ffa6a164d%2C1



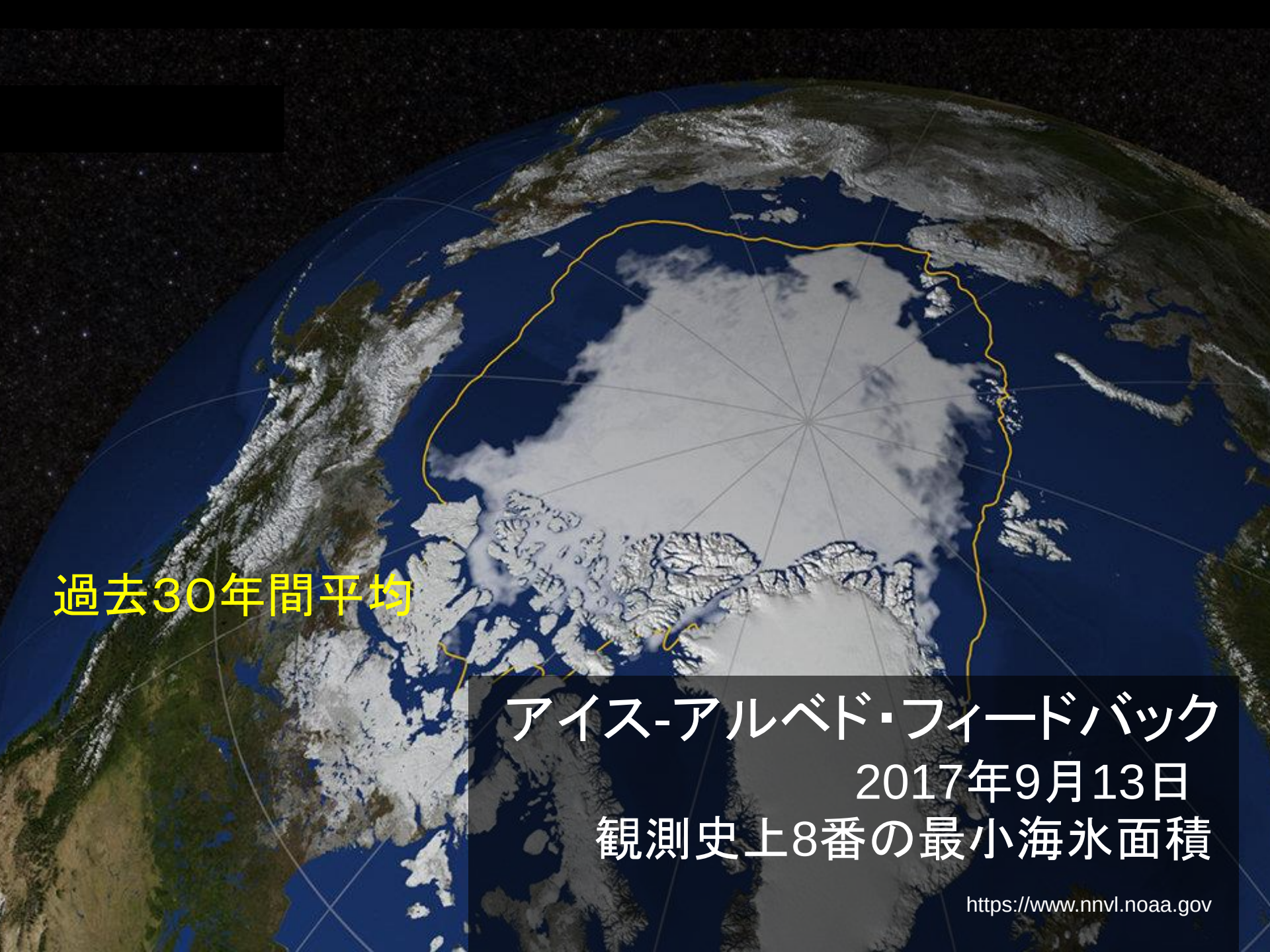
過去30年間平均

アイス-アルベド・フィードバック

2012年9月16日

観測史上最低の海氷面積

NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio
The Blue Marble data is courtesy of Reto Stockli (NASA/GSFC).
<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/2012-seaicemin.html>

A satellite image of the Arctic region showing sea ice extent. The image is a polar projection map with a grid of latitude and longitude lines. A yellow line outlines the sea ice extent, which is significantly smaller than the 30-year average shown in the previous image. The surrounding landmasses, including North America, Europe, and Asia, are visible in shades of green and brown.

過去30年間平均

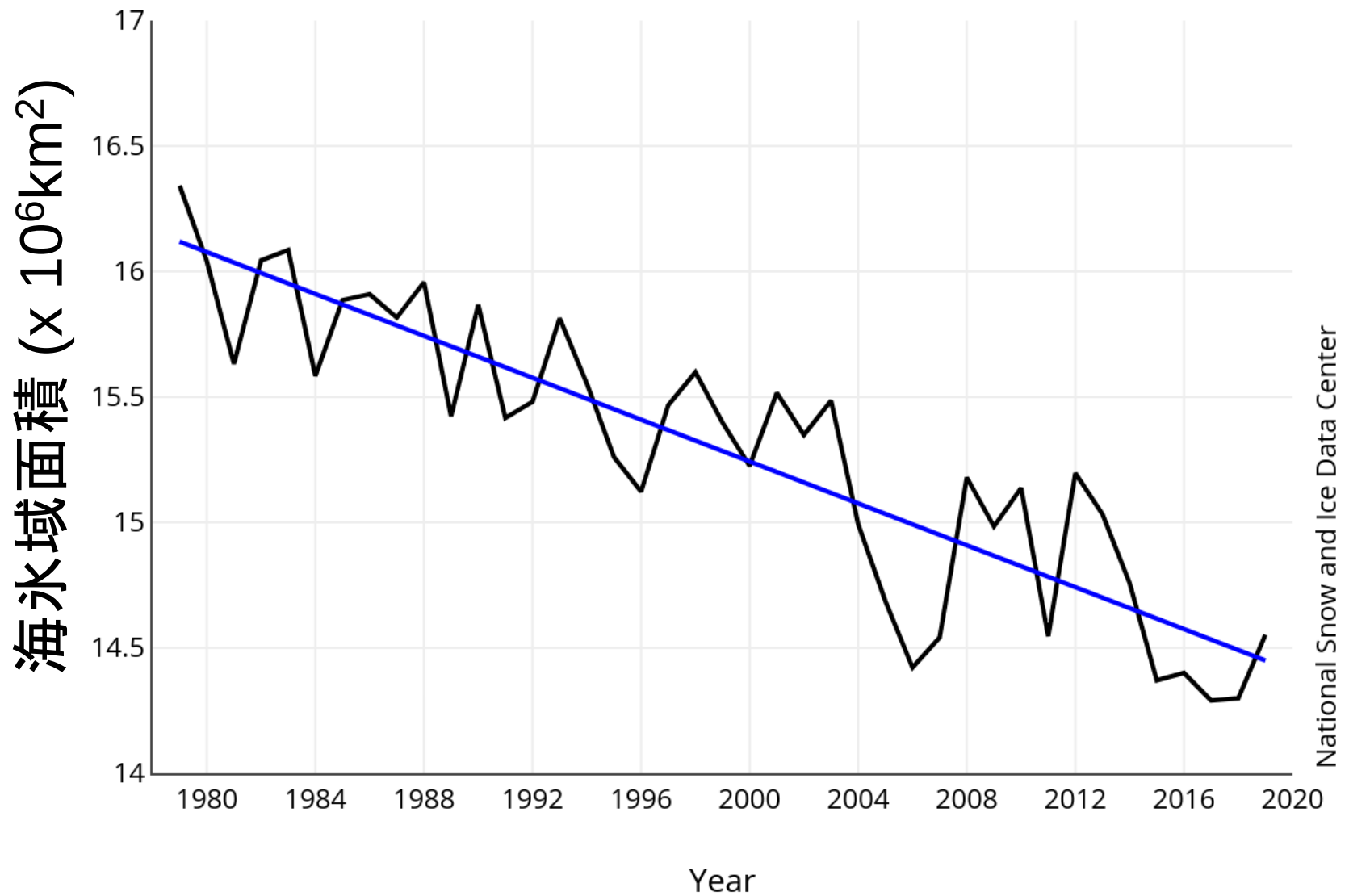
アイス-アルベド・フィードバック

2017年9月13日

観測史上8番の最小海氷面積

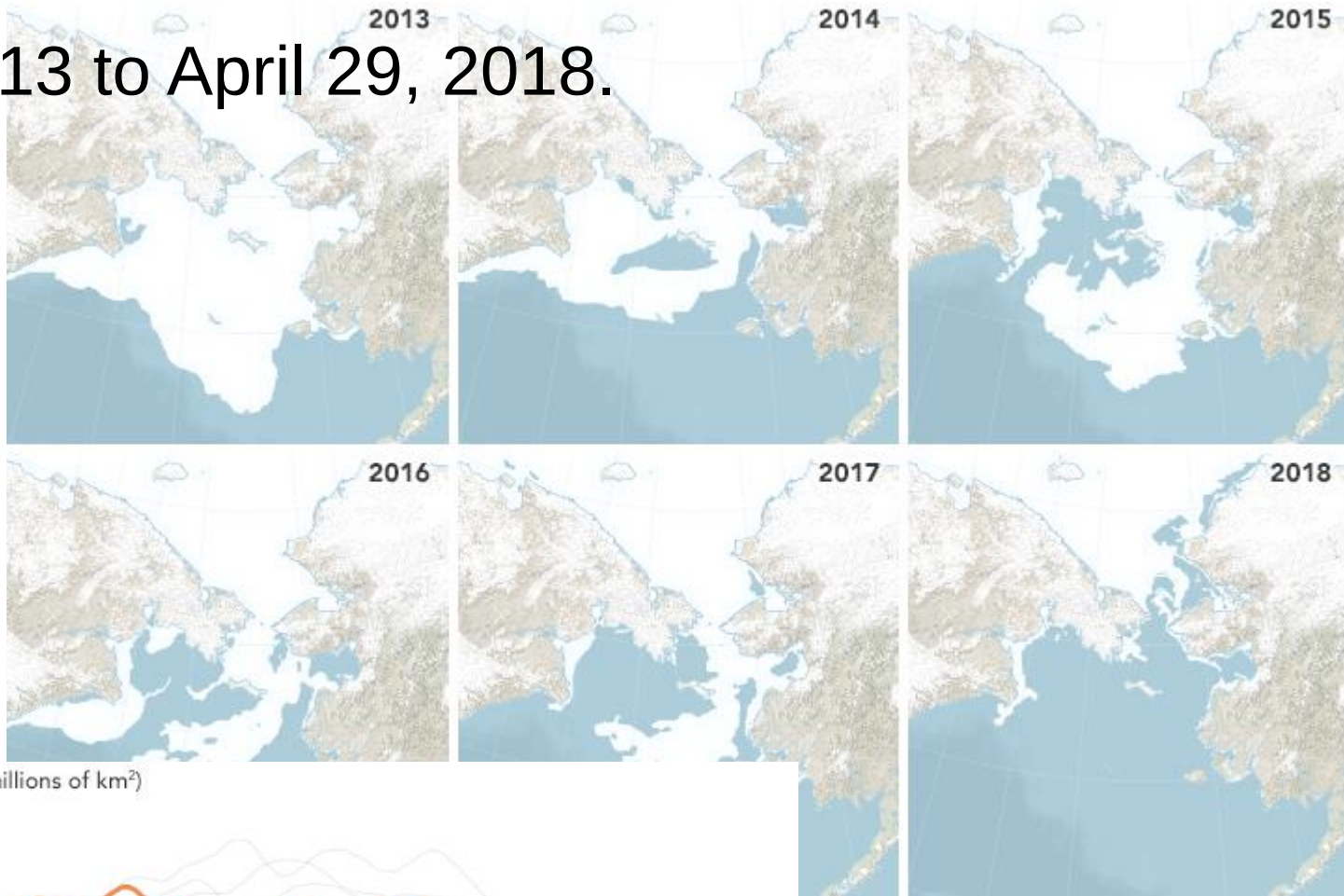
<https://www.nnvl.noaa.gov>

Average Monthly Arctic Sea Ice Extent March 1979 - 2019

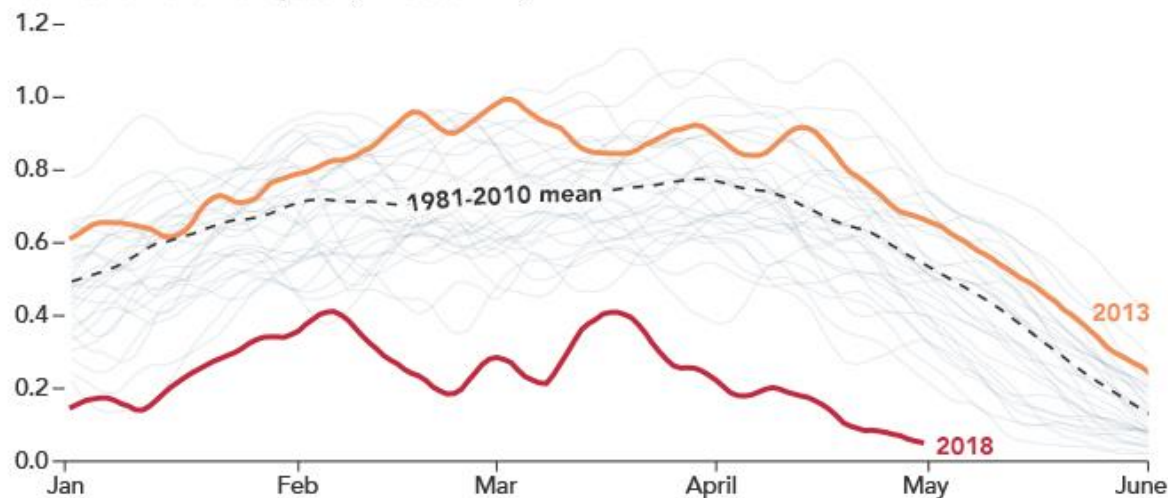


(NSIDC; <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>)

April 29, 2013 to April 29, 2018.



Ice Extent in the Bering Sea (millions of km²)



アイス-アルベド・フィードバック

気温上昇

雪氷減少

アルベド低下

純放射量の増加

顕熱・潜熱フラックスの増加

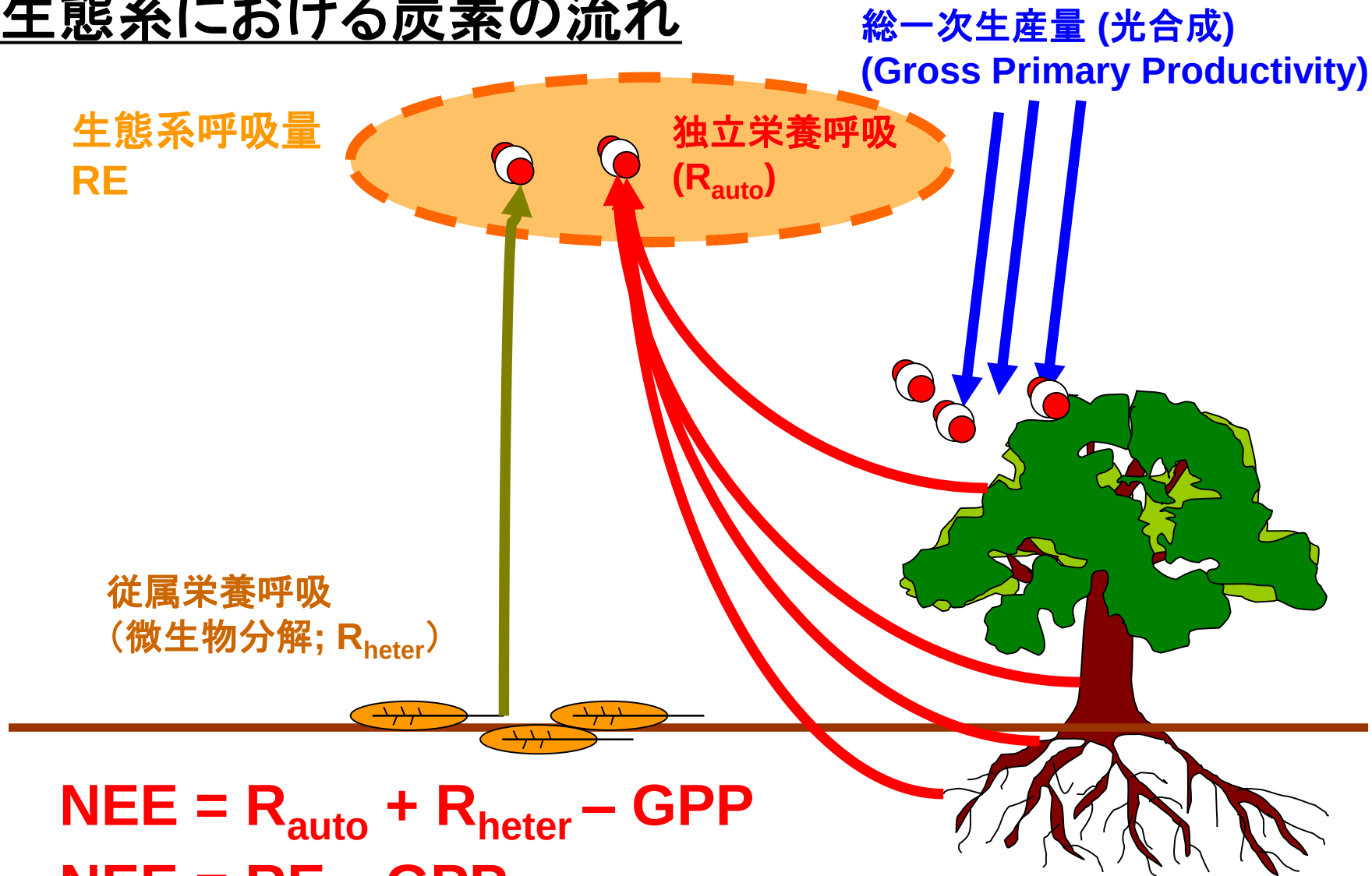
正のフィードバック

大気－生態系間の炭素の流れ

The diagram illustrates the flow of carbon in a forest ecosystem. At the top left, a sun icon is labeled '光合成 (GPP)' (Photosynthesis). Below it, a green leaf is shown with 'CO₂' entering through a '気孔' (stoma). A yellow arrow points from the leaf to a tree, labeled '分配' (Allocation). From the tree, a yellow arrow points to a pile of brown leaves on the ground, labeled '落葉' (Litterfall). From the litter, a green arrow points to a small green plant, labeled '従属栄養呼吸 (微生物分解; R_{heter})' (Dependent nutrition respiration (microbial decomposition; R_{heter})). From the tree, a red arrow points to a small red plant, labeled '独立栄養呼吸 (R_{auto})' (Independent nutrition respiration (R_{auto})).

NEE：正味生態系交換量 (Net Ecosystem Exchange)

生態系における炭素の流れ

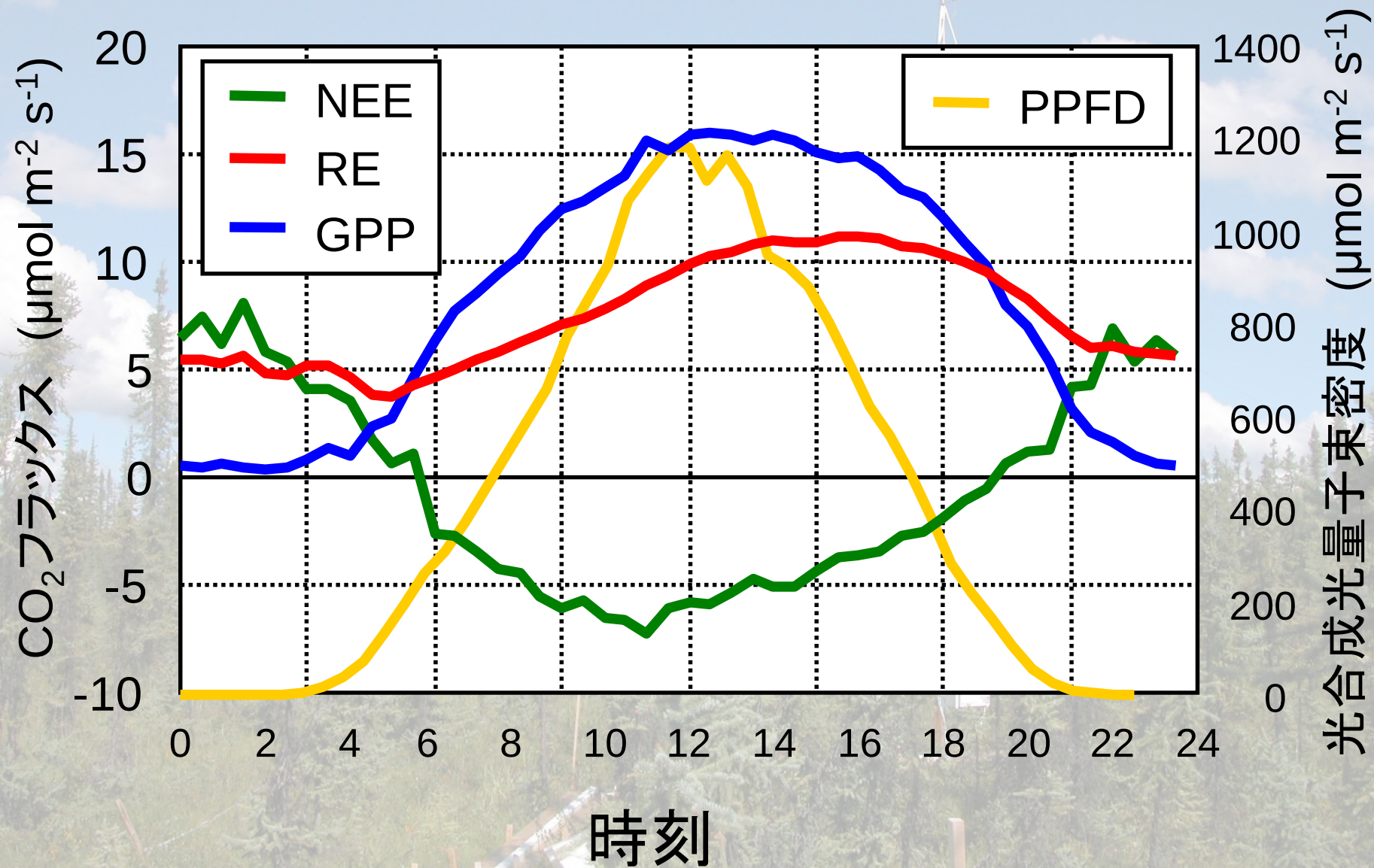


$$NEE = R_{\text{auto}} + R_{\text{heter}} - GPP$$

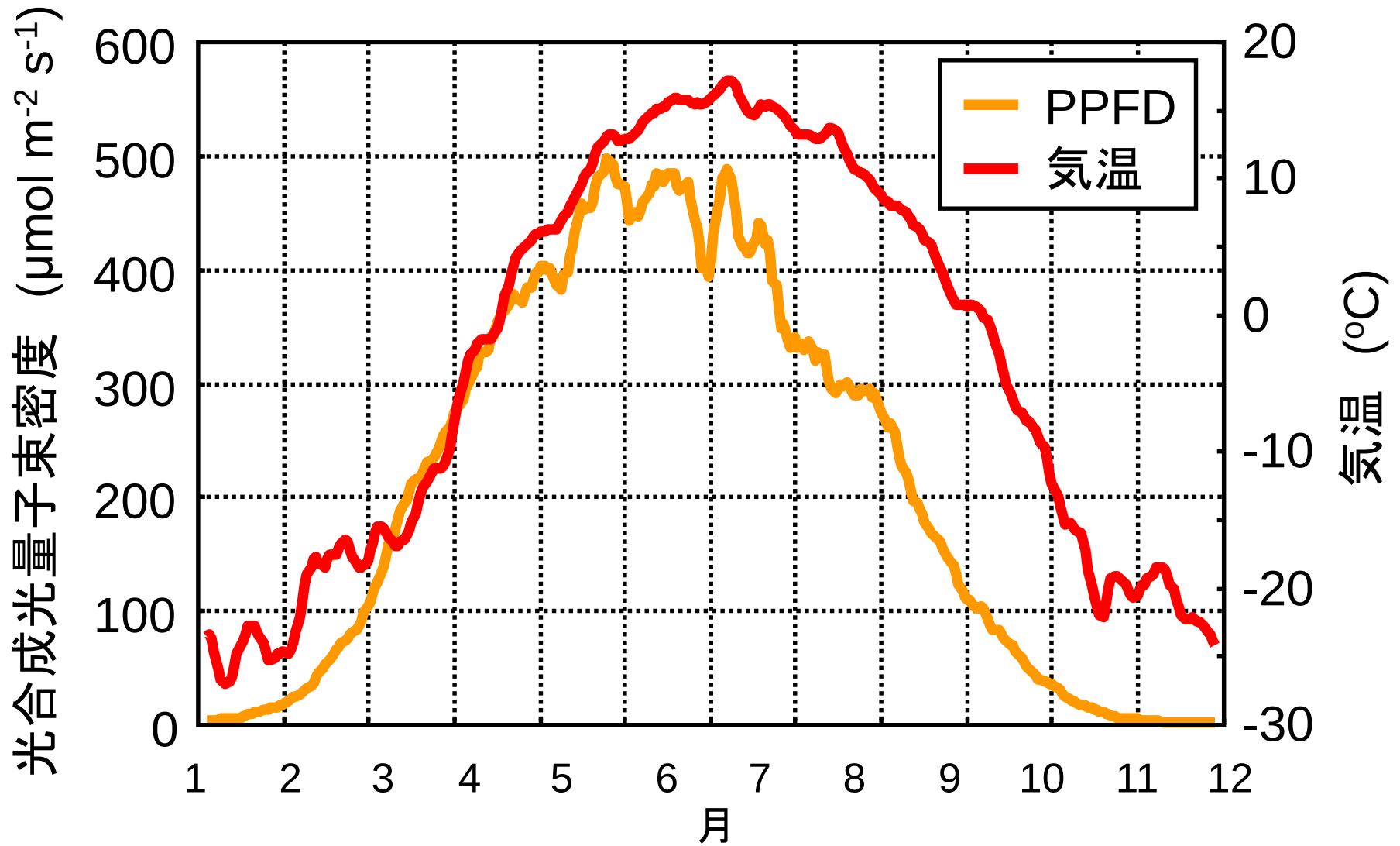
$$NEE = RE - GPP$$

NEE : 正味生態系交換量 (Net Ecosystem Exchange)

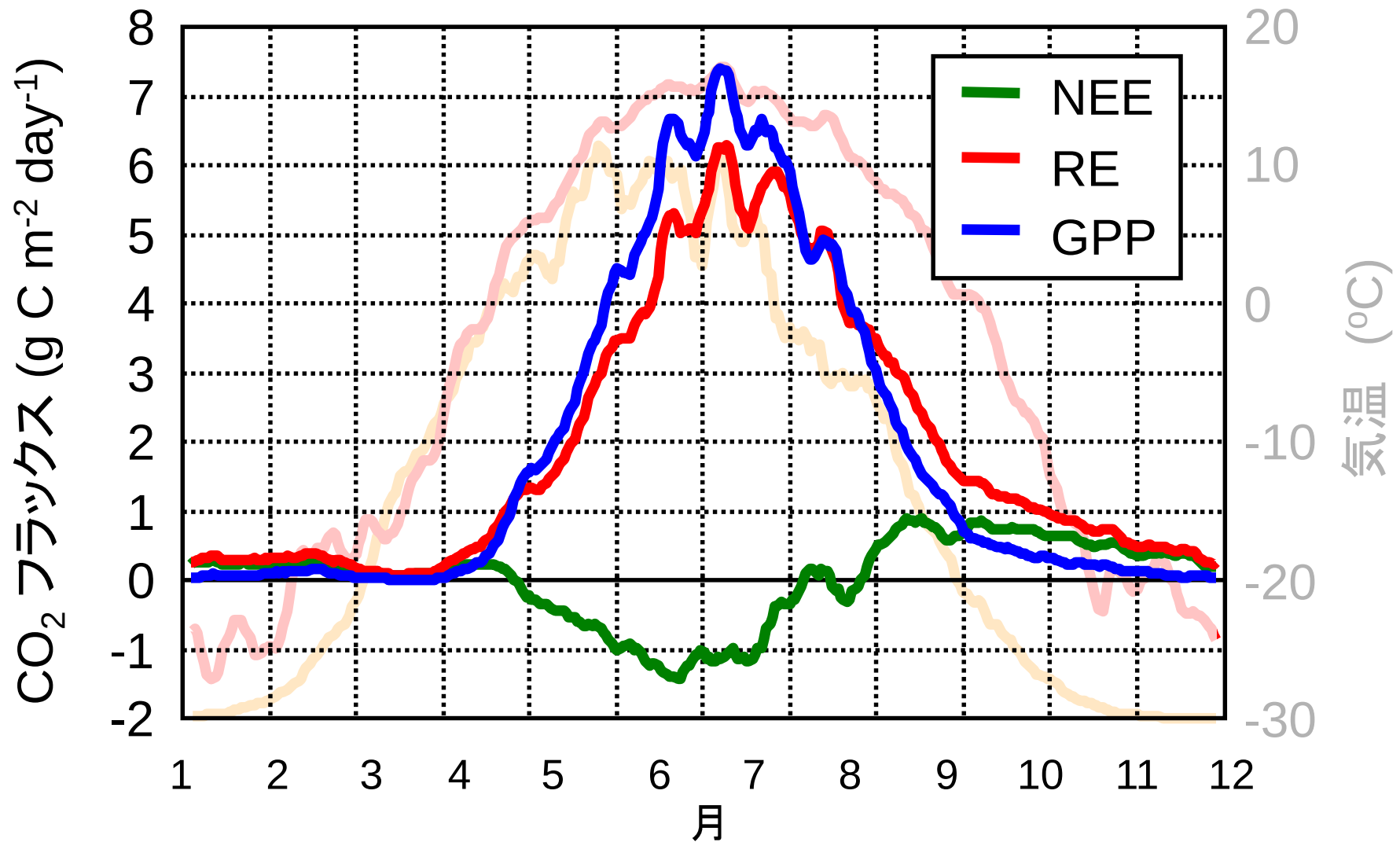
高緯度(アラスカ)の森林 : 7月



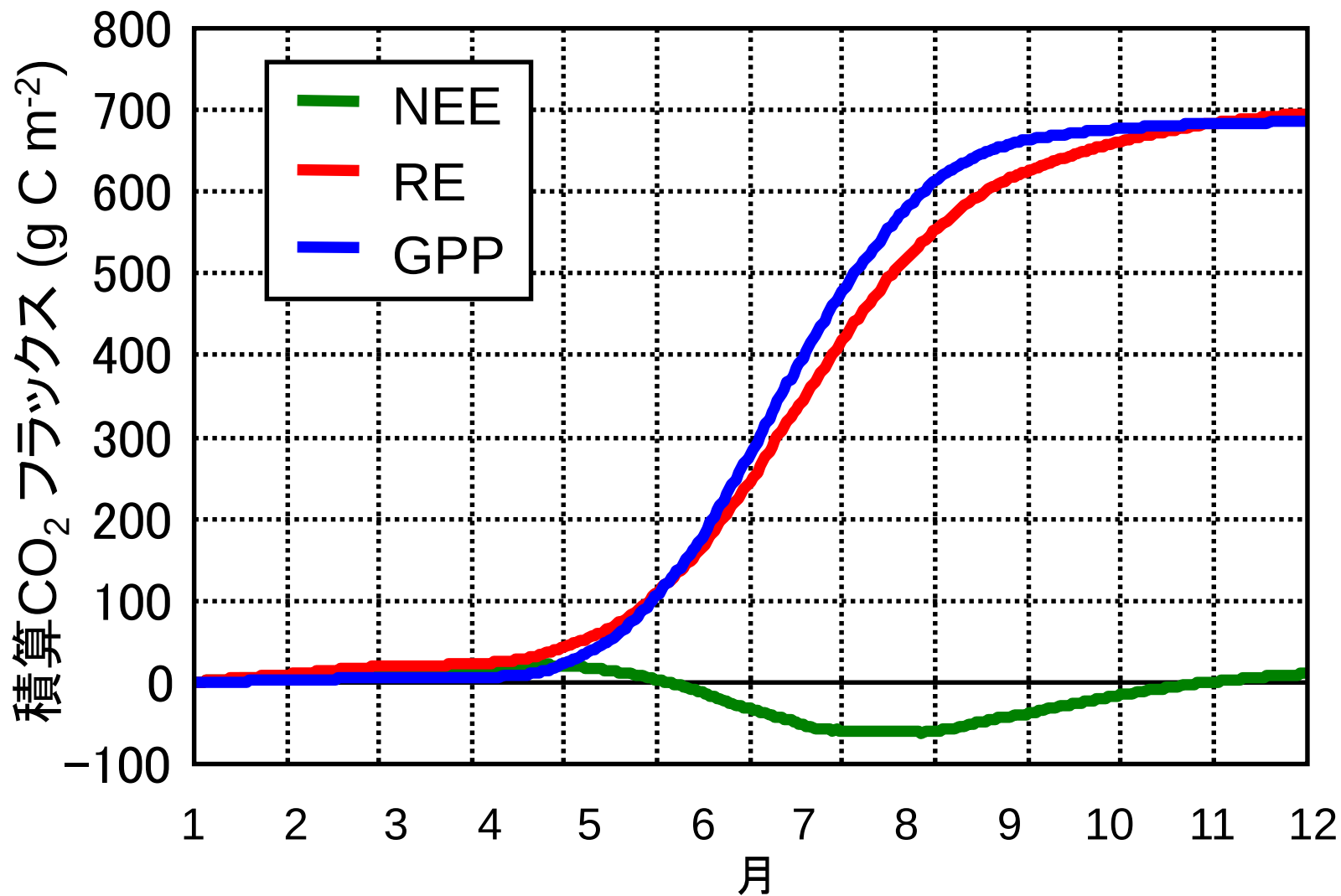
³⁰ 高緯度(アラスカ)の森林



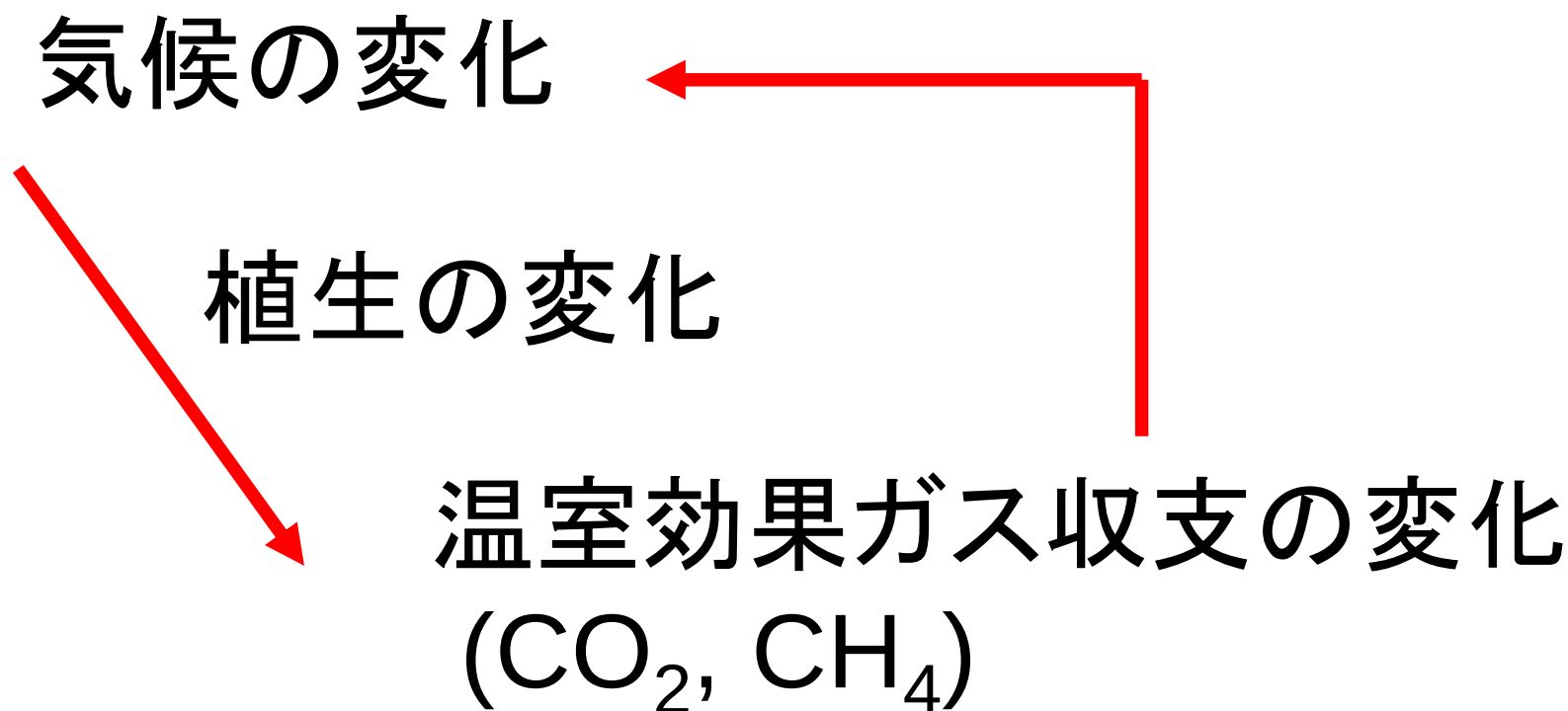
31 高緯度(アラスカ)の森林



高緯度(アラスカ)の森林の年間収支は？

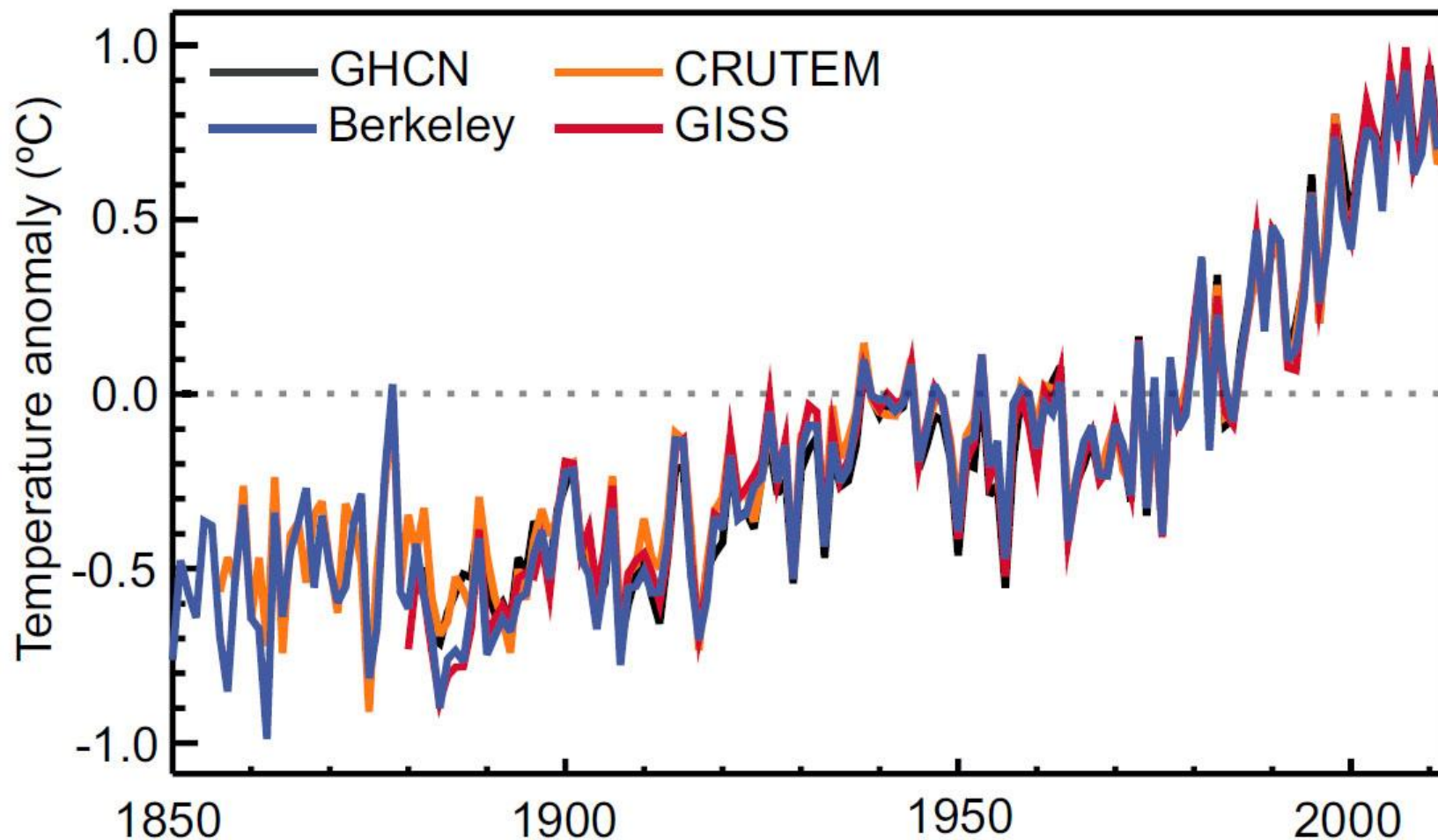


炭素循環フィードバック

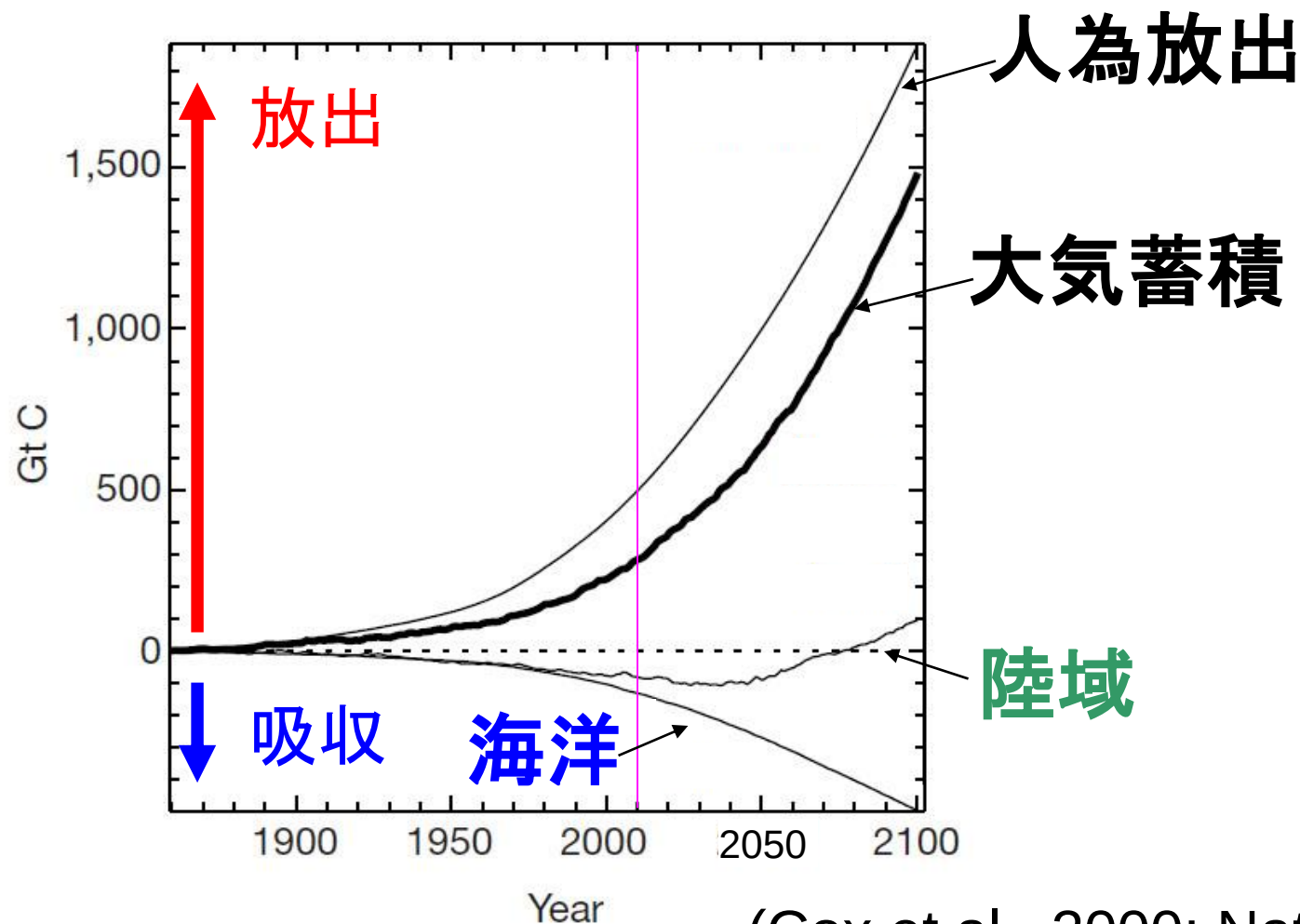


全球の気温

* 1961-1990年平均に対する相対値



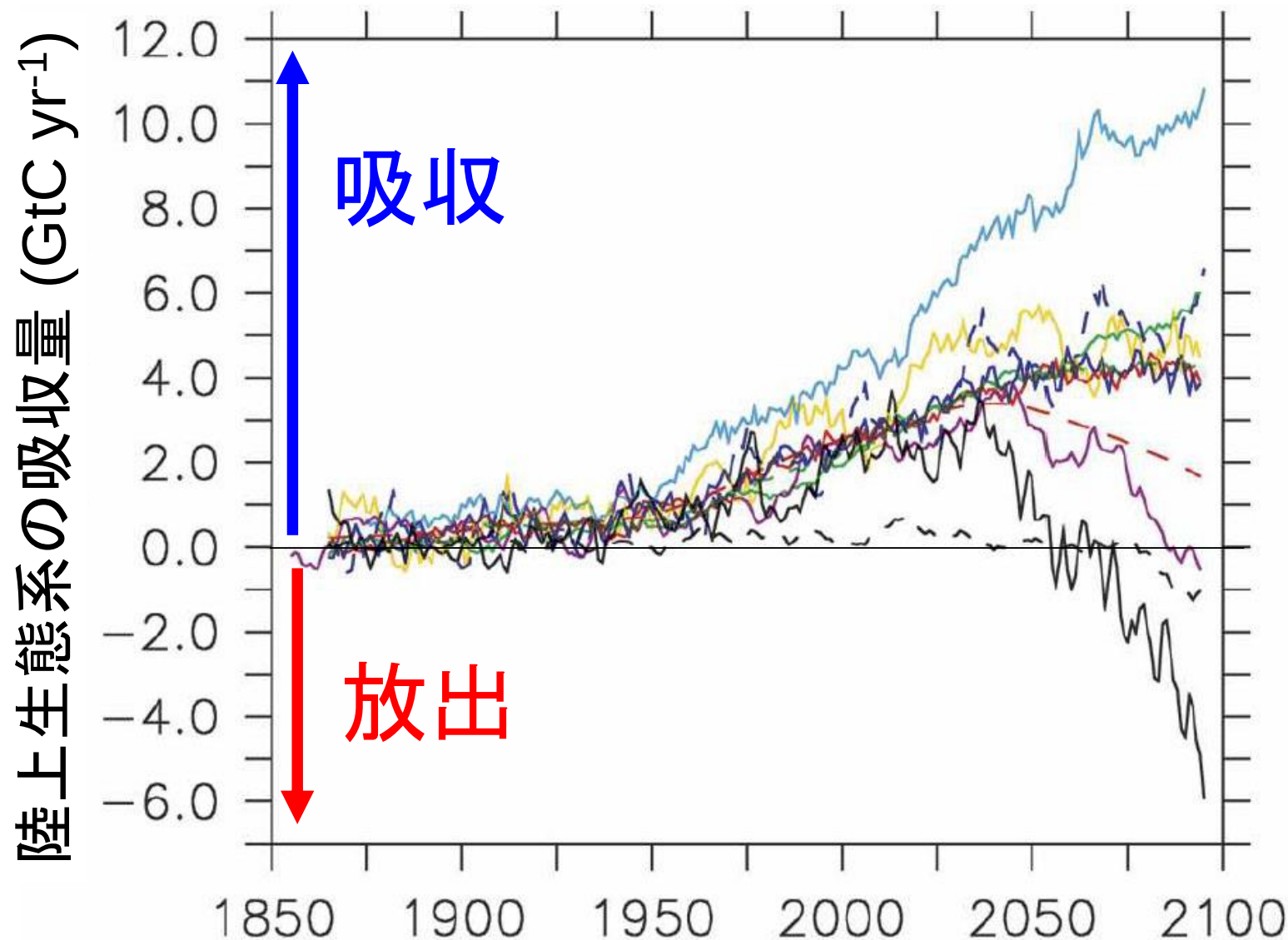
炭素循環フィードバック：将来は？



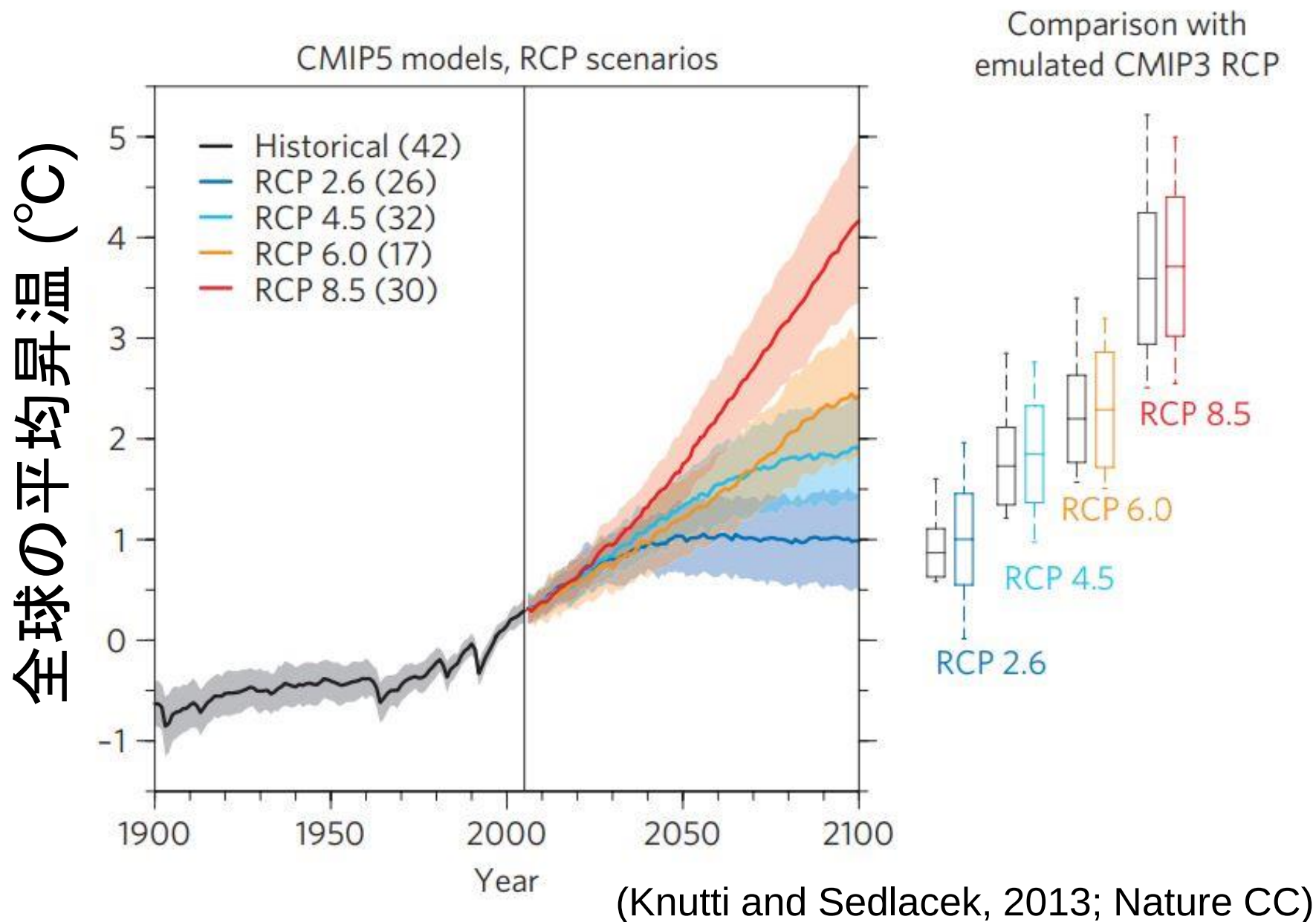
(Cox et al., 2000; Nature)

*モデルは、発展途上なので、ひとつの仮説として結果を解釈すること

炭素循環フィードバック：将来は？

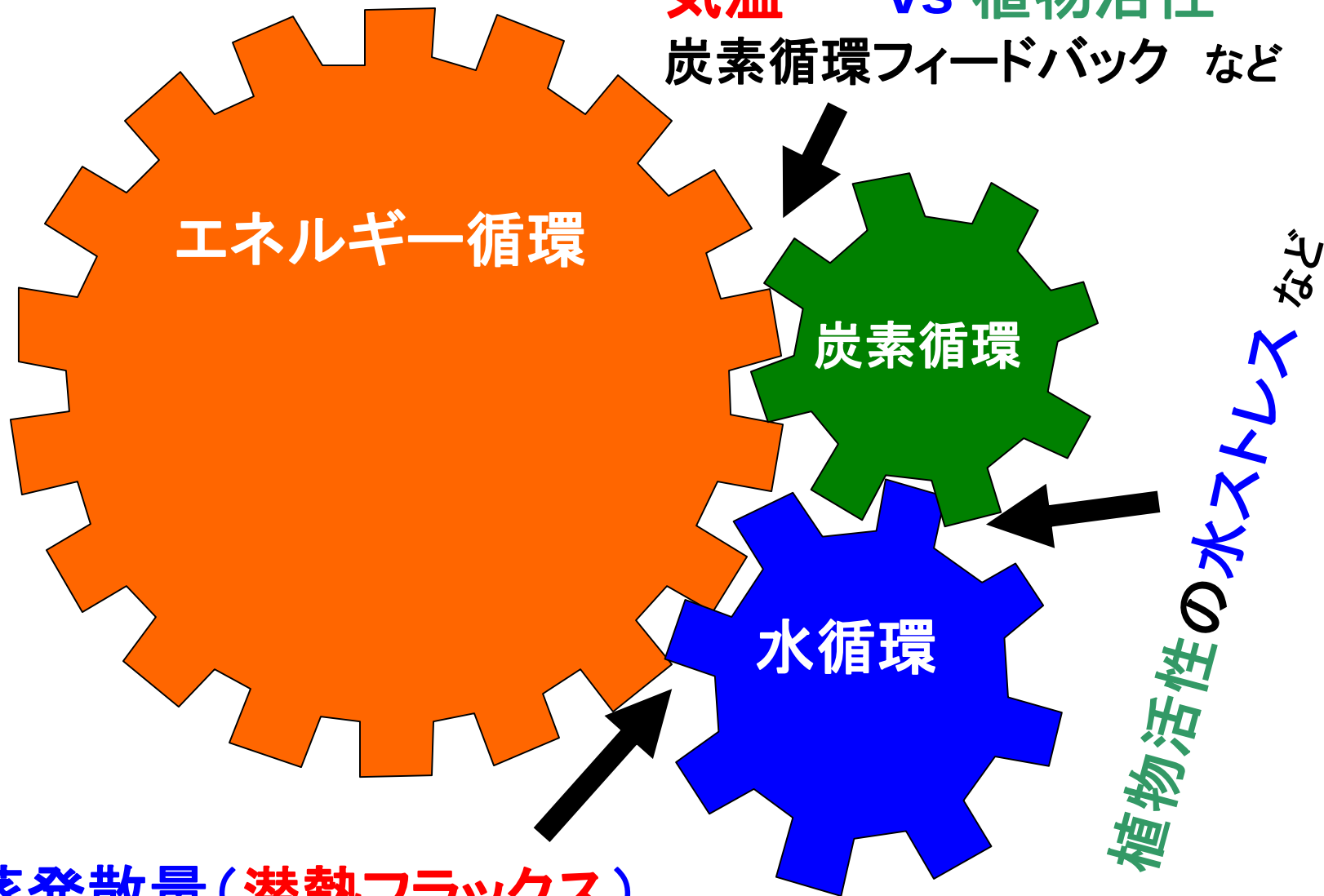


IPCC AR5 による温暖化の将来予測



地球システム

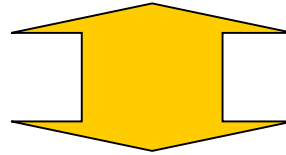
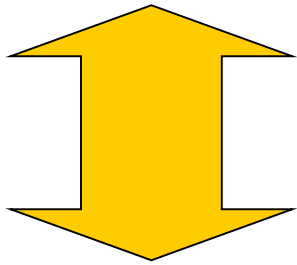
日射量 vs 光合成
気温 vs 植物活性
炭素循環フィードバック など



蒸発散量(潜熱フラックス)
温度と水の相変化など

気象・環境要因

風、降水、気温、飽差(湿度)
放射、CO₂濃度、放射

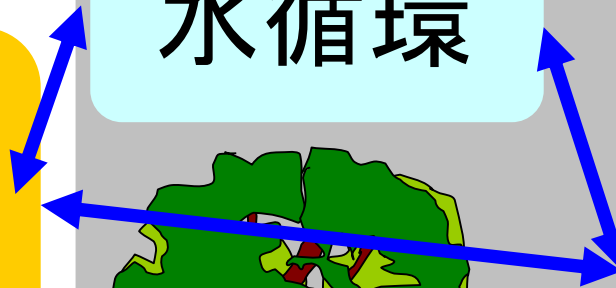
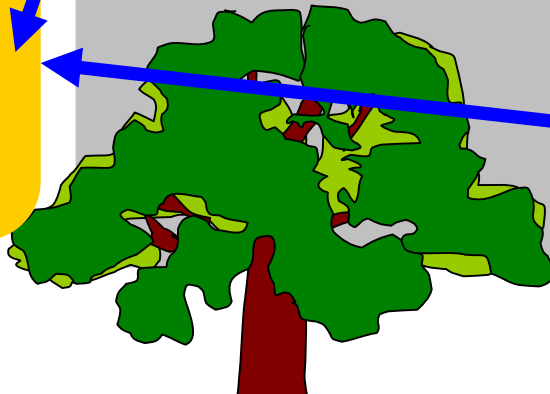


エネルギー
交換

水循環

物質循環

炭素循環



土壌要因

土壌水分、地温、地中熱流量、表面温度

気象的要因

様々な要因が複雑に絡んでいる！

群落光合成：

日変化：

風速、日射、気温、湿度、土壤水分

季節・年次変化：

気象・土壤要素、葉量、細根量

長期変化：

CO₂濃度、窒素、樹齡、遷移

土壤水分、地温、地中熱流量、表面温度

観測のデザイン

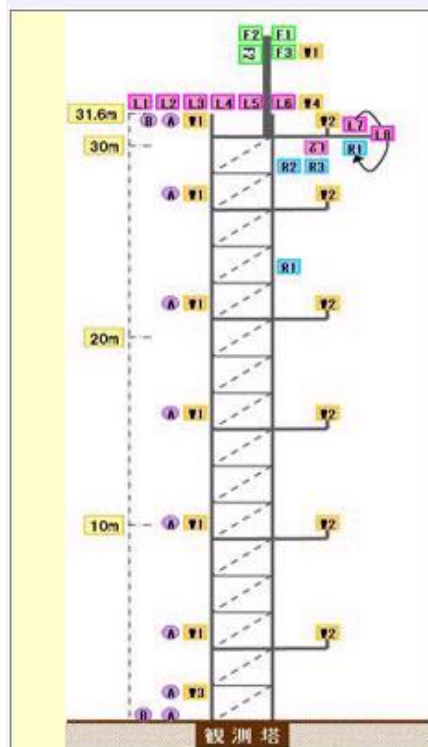
 様々な要素を計測 → 植生機能のメカニズムが明らかに

 長期的モニタリングでは、対象とする現象に関連する多くの要因が長期的に計測されていることが重要
* 1つ環境要素が欠けているだけでデータを正確に評価できないことがある。

 長期モニタリングを実施する際は事前に綿密な計画が必要であると同時に、追加で計測する必要がある環境要因がないかを注視してデータをみる必要がある。

観測のデザイン

富士北麓フラックス観測サイトの場合



<観測項目一覧>

→データ回収・保存方法

記号・測定項目	数	設置場所・備考・詳細
F1 3成分風向・風速	1台	塔頂1
F2 CO ₂ /H ₂ O濃度変動(オープンパス)	1台	塔頂1
F3 CO ₂ /H ₂ O濃度変動(クローズドパス)	1式	塔頂1
A CO ₂ 濃度プロファイル	1式	8高度
B -	-	-
L1 全天日射	6台	塔上1、林床5
L2 光合成有効放射(PPFD)	2台	林床2
	4式	上下設置:塔上1、林床3
L3 -	-	-
L4 -	-	-
L5 直達/散乱日射	1台	塔上1 ※シャドウハット
L6 分光放射	2式	上下回転式:塔上1、林床1
L7 直達放射スペクトル	1式	塔上1 ※スライショーマー
L8 放射収支	3台	塔上1、林床3
W1 気温・湿度	11台	塔頂1、塔6、林床4
W2 2成分風向・風速	7台	塔6、林床1
W3 気圧	1台	地上1
W4 降水	1台	塔上1
W5 積雪深	1台	地上1
R1 魚眼カメラ	6台	上下回転式:林床1
R2 -	-	-
R3 レーザープロファイラー	1台	塔上1
S1 地温	13台	林床3地点、7深度
S2 土壌水分	7台	林床3地点、3深度
S3 地熱流量	3式	林床3地点

- 森林生態系—大気間のCO₂・エネルギー収支(フラックス)の観測
- 林内微気象・地下環境の観測
- 森林生態系の構造の調査
- 森林植物の生理機能の調査
- 森林植生のフェノロジーの調査
- 土壌生態系の機能の調査
- 森林生態系のバイオマス・生理機能のリモートセンシング観測

観測のデザイン

富士北麓フラックス観測サイト

雨量計

放射計



赤外線ガス分析計



超音波風速温度計

温湿度・風速分布



幹呼吸測定チャンバー



土壌呼吸測定チャンバー



放射計類

魚眼カメラ



復習事項

☒ 生態系のエネルギーと炭素の流れ

地表面の熱・エネルギー収支

生態系の炭素収支

数式、フィードバック機構

☒ 観測デザイン

引用・参考文献

- Baldocchi, D. 2008. 'Breathing' of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems. *Australian Journal of Botany*, 2008, 56, 1-26.
- Chapin III, F. S., Matson, P. A. and Vitousek, P. M. 2012. *Principles of terrestrial ecosystem ecology 2nd edition*, New York, Springer-Verlag Press, 529pp.
- Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., and Totterdell, I. J. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408, 184-187.
- Friedlingstein, P. et al. 2006; Climate-carbon cycle feedback analysis: Results from the C⁴MIP model intercomparison, *J. Climate*, 19, 3337-3353.
- 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.
- Knutti, R. and Sedlack, J. 2013. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change*, 3, 369-373.
- 日本農業気象学会編, 1997: 新編 農業気象学用語解説集—生物生産と環境の科学—, 313pp.
- 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, 199pp.
- Randerson, J.T., Chapin, III, F.S., Harden, J.W., Neff, J. C., and Harmon, M. E., 2002: Net ecosystem production: A comprehensive measure of net carbon accumulation by ecosystems. *Ecol. Appl.*, 12, 937-947.