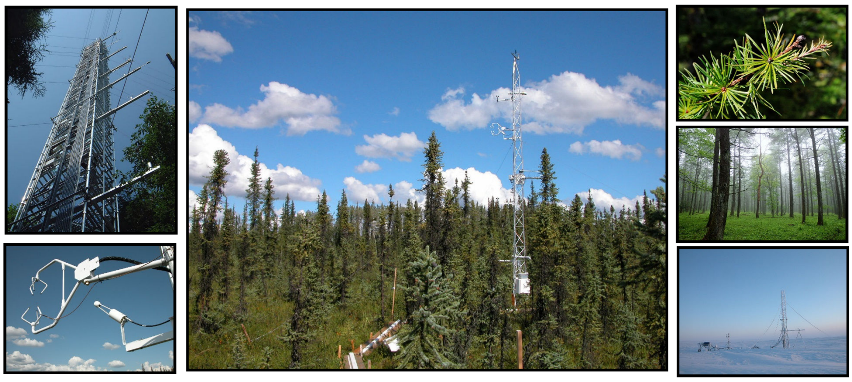
1

生態環境計測学　2015/11/04

植物群落における微気象観測　/ 渦相関法

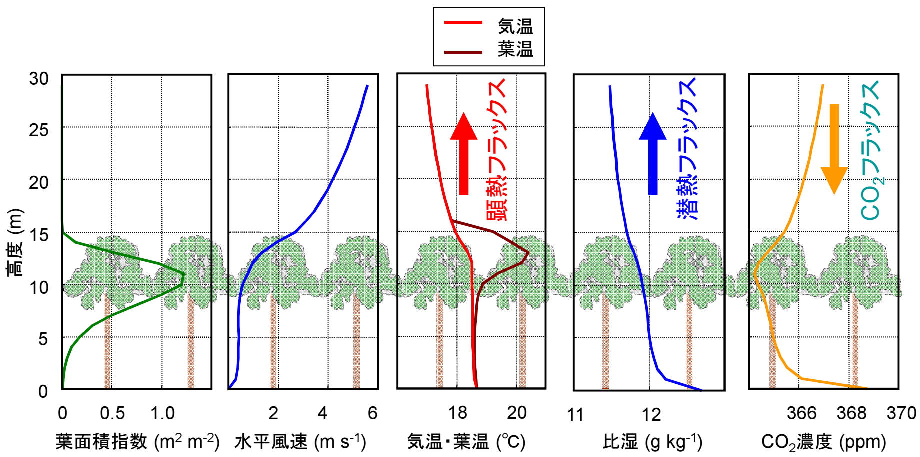


植山　雅仁

2

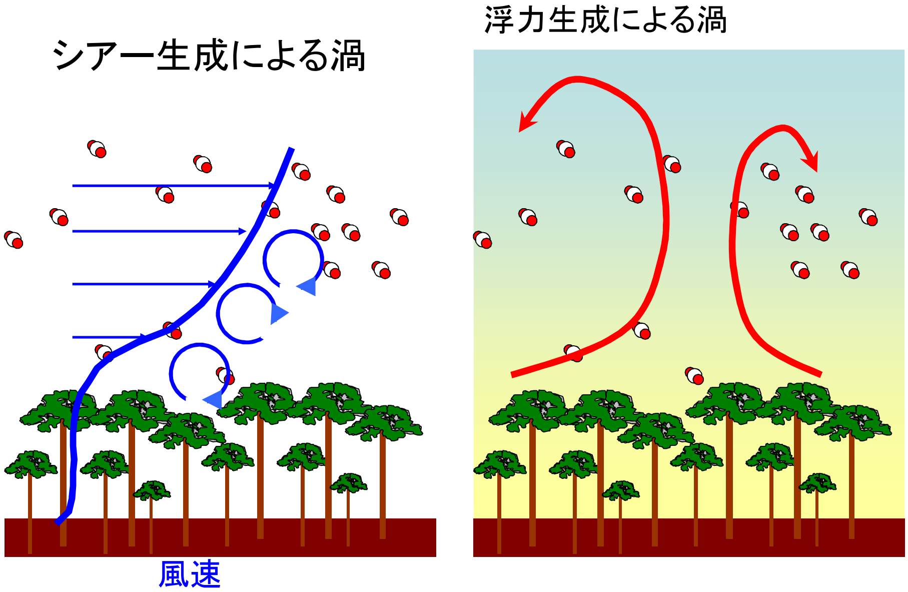
乱流輸送

植物群落と大気の間の物質輸送は、乱流によって生じる渦によってなされる



3

乱流輸送と二つの渦



4

渦相関法 （Eddy Covariance Method）

乱流輸送に寄与する全てのスケール（大きさ）の渦を直接測定することでフラックスを計測する手法

高い**応答性** （小さな渦を計測するため）
10Hz(1秒間に10回)程度の計測が必要

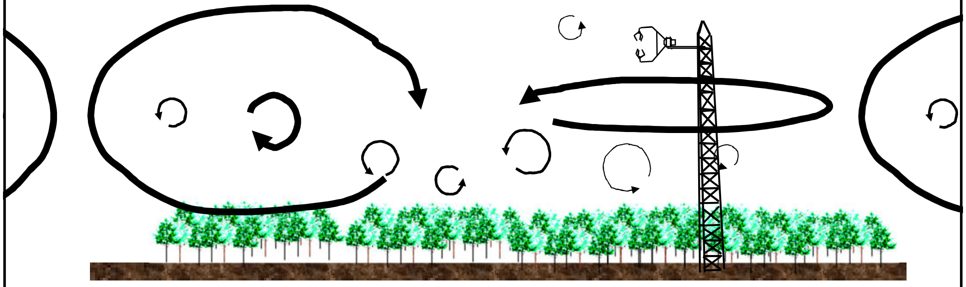
高い**安定性** （大きな渦を計測するため）

群落スケールでの熱、水蒸気、CO_2交換量の計測において世界標準

5

渦相関法 （Eddy Covariance Method）

乱流輸送に寄与する全てのスケール（大きさ）の渦を直接測定することでフラックスを計測する手法

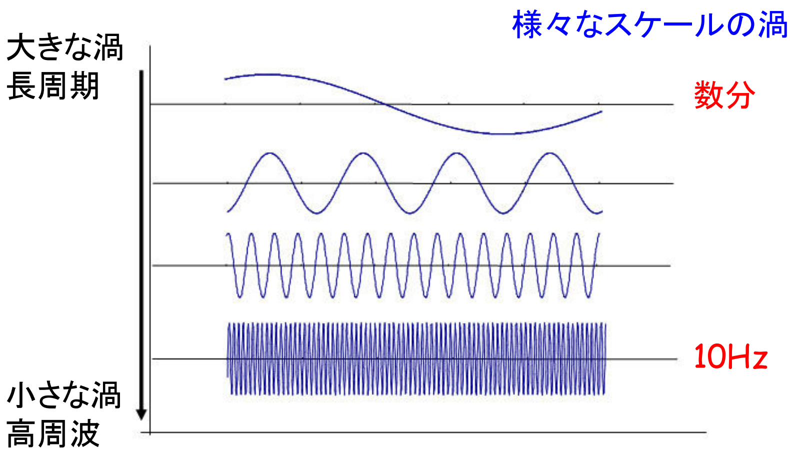


植物群落上には、さまざまなスケールの渦が発生

6

渦相関法 （Eddy Covariance Method）

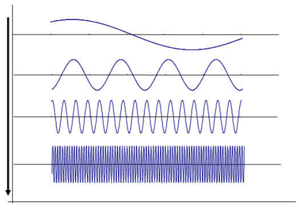
乱流輸送に寄与する全てのスケール（大きさ）の渦を直接測定することでフラックスを計測する手法



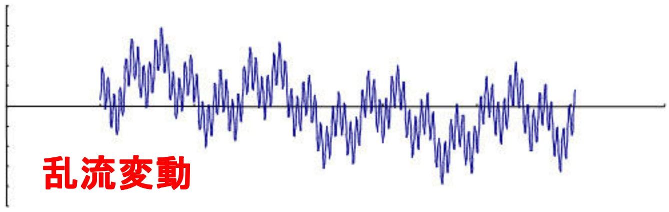
7

渦相関法 （Eddy Covariance Method）

乱流輸送に寄与する全てのスケール（大きさ）の渦を直接測定することでフラックスを計測する手法

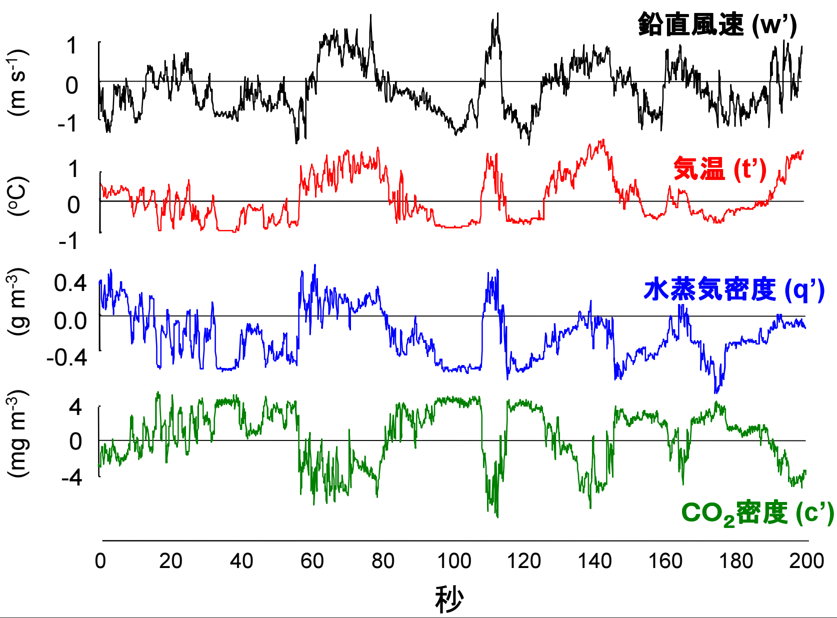


これらの渦が足し合わさる



8

植物群落上の乱流変動



9

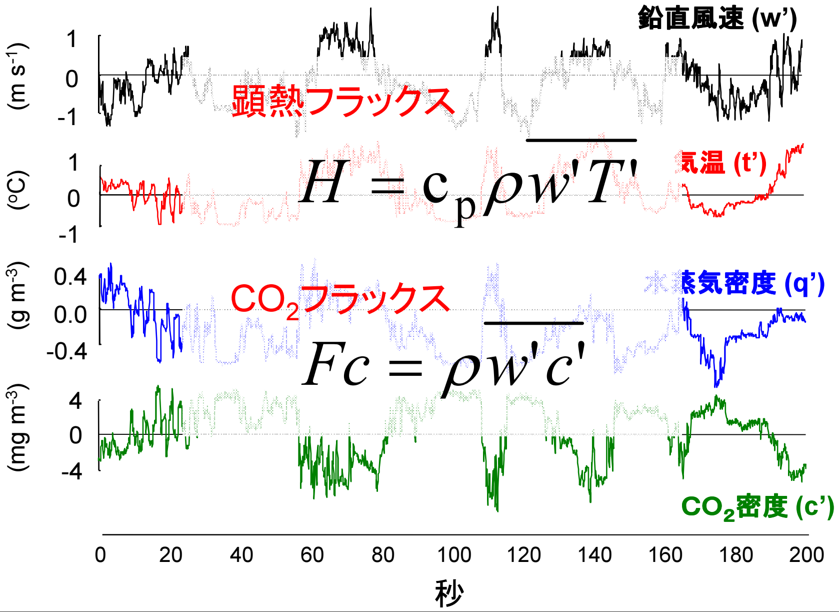
植物群落上の乱流変動

顕熱フラックス

$$H = c_p \rho \overline{w'T'}$$

CO_2フラックス

$$Fc = \rho \overline{w'c'}$$



10

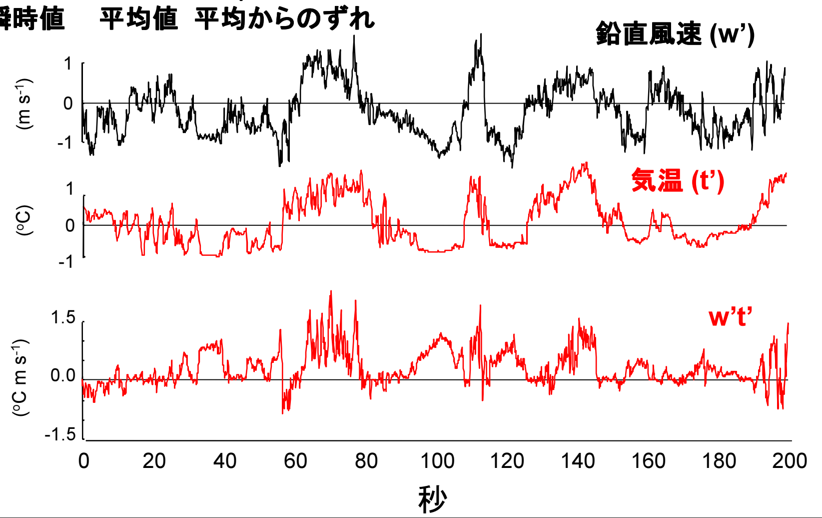
植物群落上の乱流変動

顕熱フラックス

$$\mathbf{t} = \overline{\mathbf{t}} + \mathbf{t'}$$

瞬時値　平均値　平均からのずれ

$$H = c_p \rho \overline{w'T'}$$



11

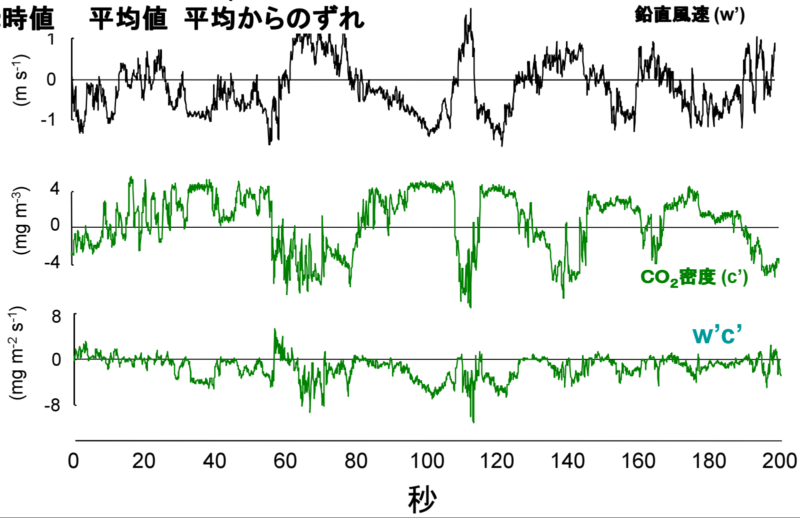
植物群落上の乱流変動

CO$_2$フラックス

$$c = \overline{c} + c'$$

瞬時値　平均値　平均からのずれ

$$Fc = \rho\overline{w'c'}$$



12

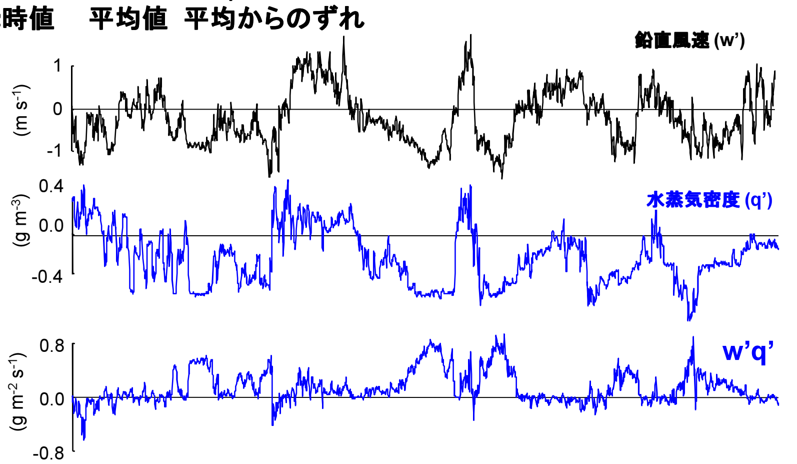
植物群落上の乱流変動

水蒸気フラックス

$$q = \overline{q} + q'$$

瞬時値　平均値　平均からのずれ

$$E = \overline{w'q'}$$



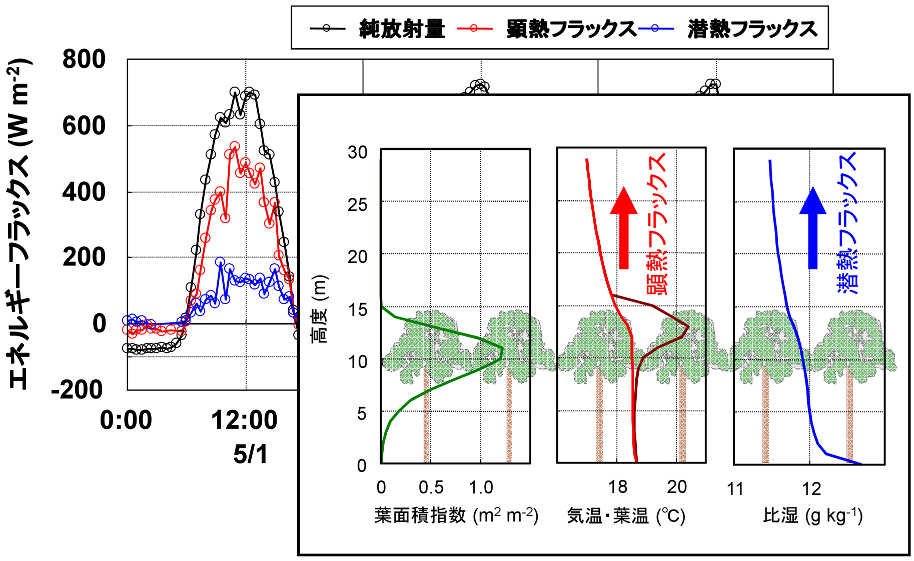
13

植物群落上の乱流変動

14

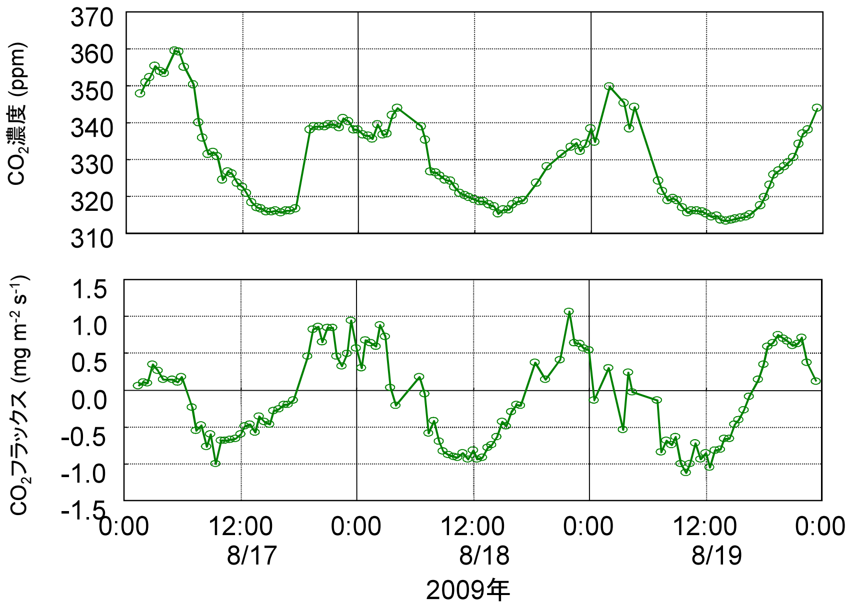
植物群落上の熱交換

$$Rn = H + lE + G$$



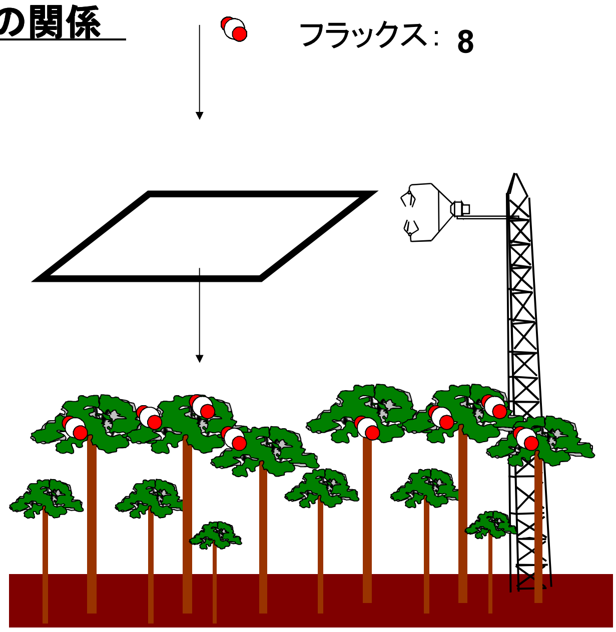
15

植物群落上のCO_2交換



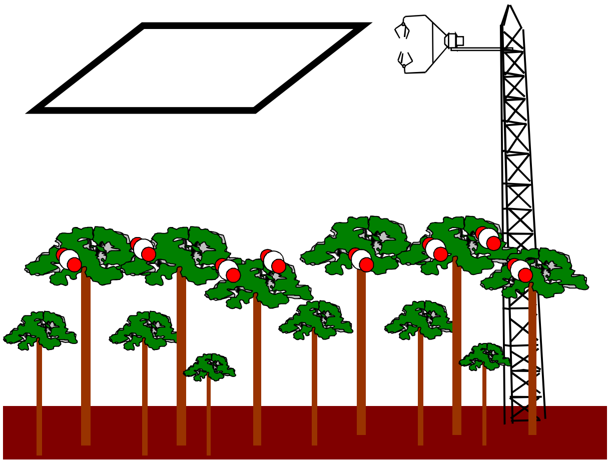
16

フラックスと貯留の関係



17

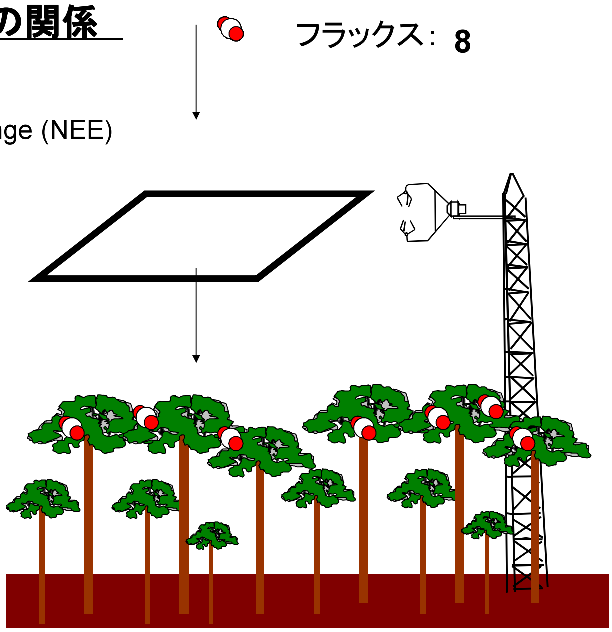
フラックスと貯留の関係



貯留： **8**

18

フラックスと貯留の関係



フラックス： **8**

正味生態系交換量
Net Ecosystem Exchange (NEE)

8 + 5 = 13

貯留： **5**

19

正味生態系交換量 (NEE)

フラックス + 貯留変化（F_S）

測定高度まで足す

各測定高度の濃度の変化量

$$F_S = \int_0^m \frac{\Delta C(z)}{\Delta t} dz$$

単位時間当たり （例えば、30分など）

20

貯留変化の概念図

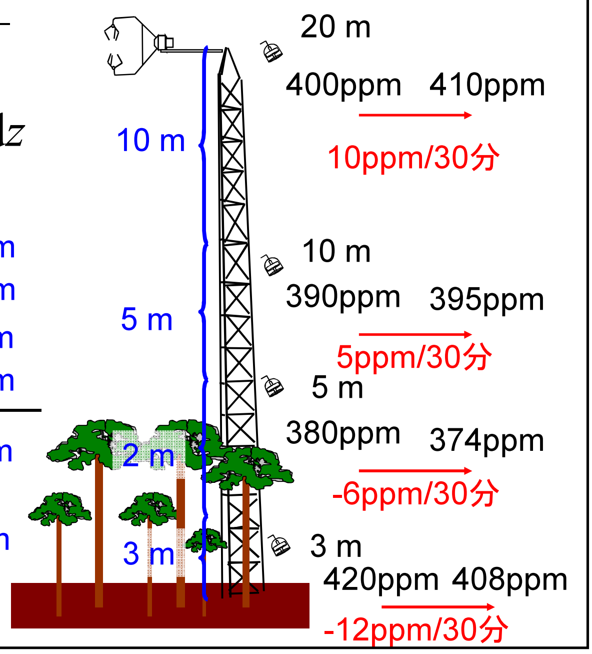
$$F_S = \int_0^m \frac{\Delta C(z)}{\Delta t} dz$$

10/30x10 ppm 分$^{-1}$ m
5/30x5 ppm 分$^{-1}$ m
-6/30x2 ppm 分$^{-1}$ m
\+ -12/30x3 ppm 分$^{-1}$ m

-77/30 ppm 分$^{-1}$ m

=

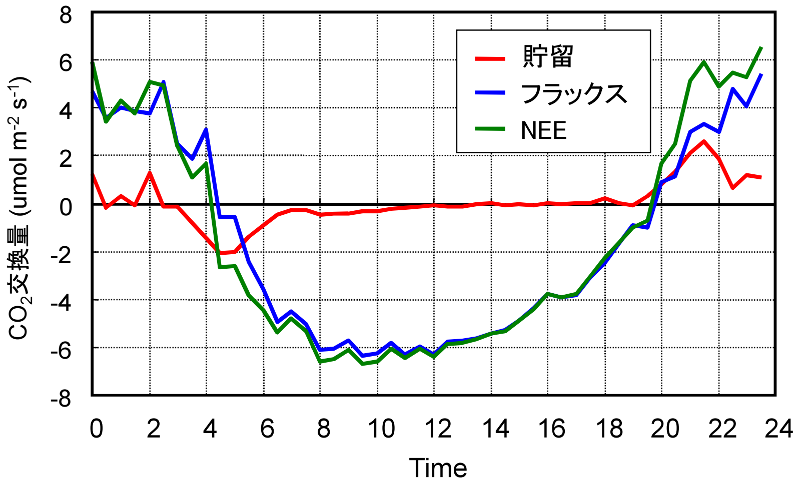
2.57 ppm 分$^{-1}$ m



21

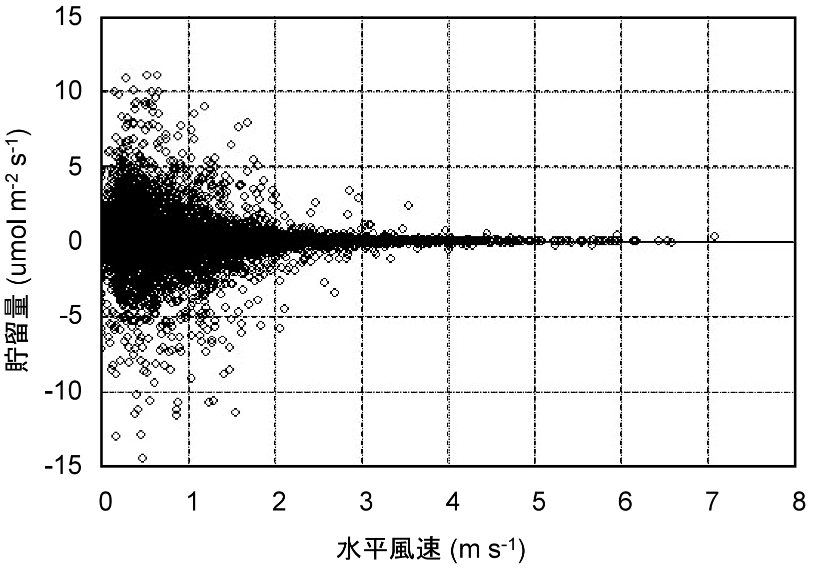
貯留とNEE

NEE = フラックス + 貯留



22

貯留と風速



23

NEE = フラックス + 貯留変化

測定高度より下の物質量の変化

乱流輸送によって大気と交換された量

生態学的なプロセスに起因して変化量

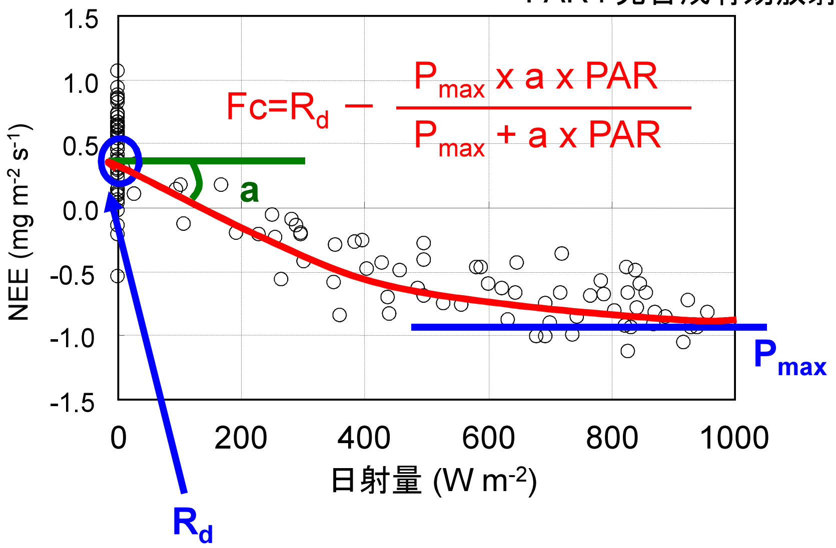
NEE (Net Ecosystem Exchange) 純生態系交換量

24

植物群落上のCO_2交換

光一光合成曲線（直角双曲線）

P_{max} : 最大光合成速度
a : 初期勾配
R_d : 暗呼吸速度
PAR : 光合成有効放射

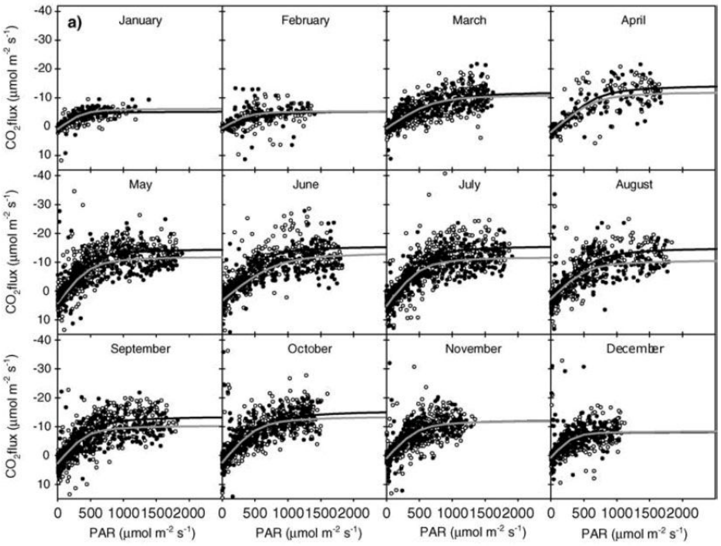


25

植物群落上のCO2交換

季節変化

国内ヒノキ林の場合



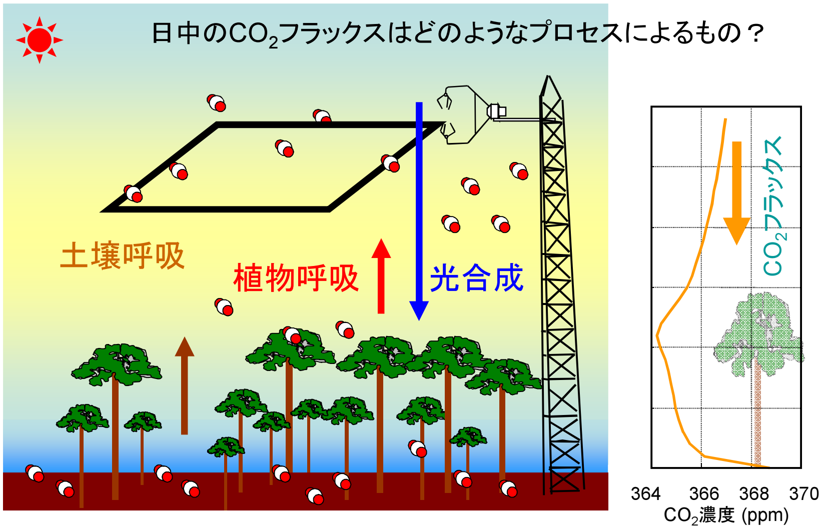
*CO_2フラックスの符号は正負が逆になっていることに注意

(Takanashi et al., 2005)

26

植物群落上のCO2交換

観測されたCO_2フラックスから群落光合成と呼吸に分離

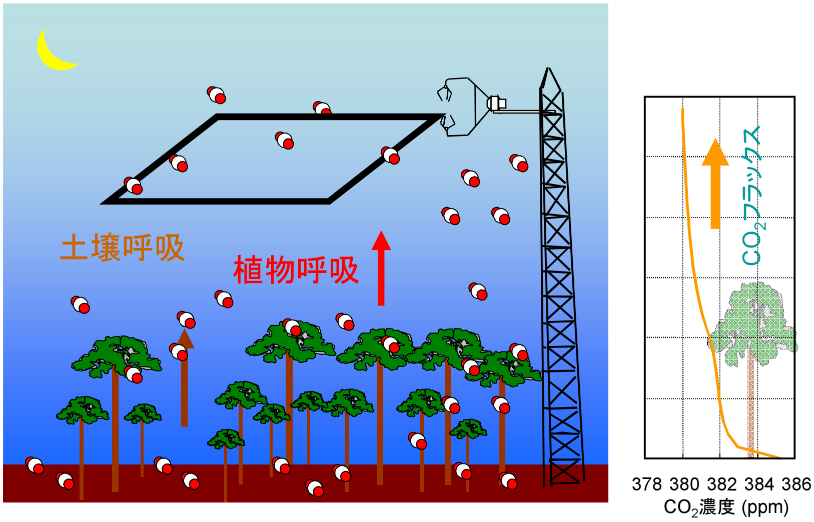


27

植物群落上のCO2交換

夜間は光合成がない！

観測されたCO_2フラックスから群落光合成と呼吸に分離



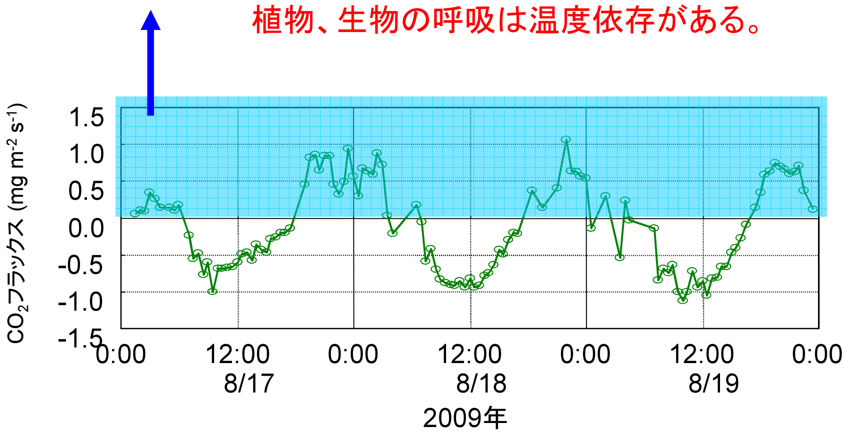
28

植物群落上のCO2交換

観測されたCO_2フラックスから群落光合成と呼吸に分離

夜間のデータは、呼吸のみ

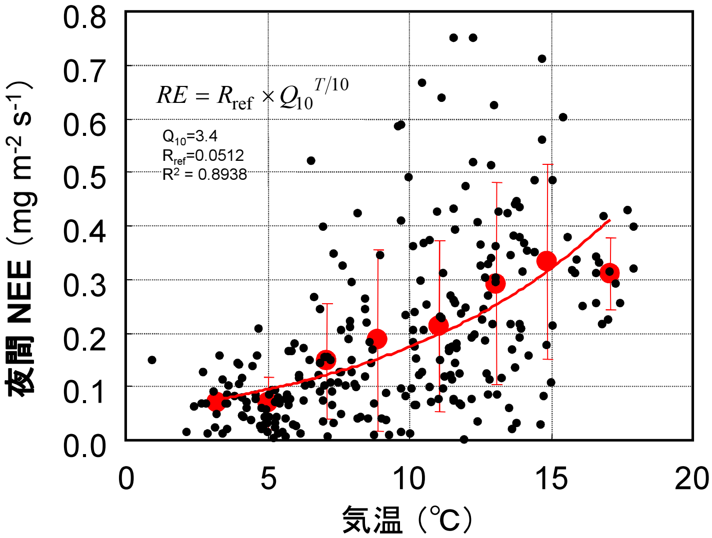
植物、生物の呼吸は温度依存がある。



29

夜間呼吸の定式化

R_{ref} : 0℃の時の呼吸量
Q_{10} : 感度定数
（0～10℃の温度上昇で呼吸が何倍になるか表す係数）



30

光合成と呼吸の分離

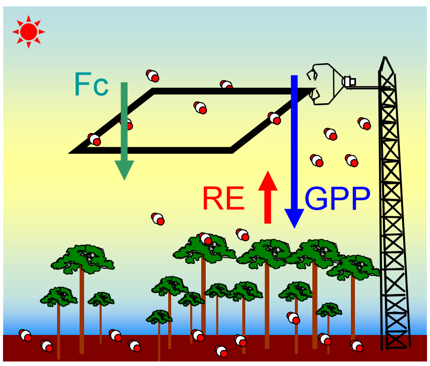
GPP : 総一次生産量
(群落光合成量)
RE : 生態系呼吸量
NEE : 純生態系交換量

$$NEE = RE - GPP$$

$$GPP = RE - NEE$$

気温の日変化・
夜間フラックスから

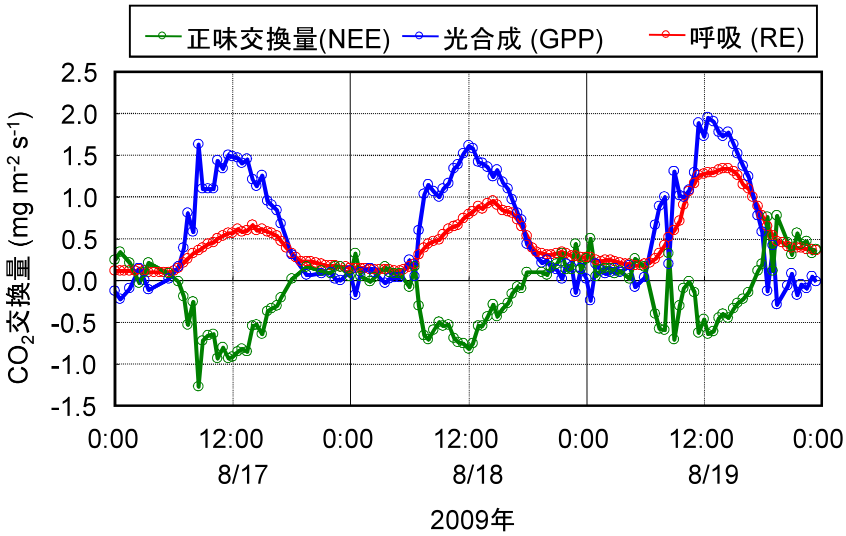
測定値



GPP : gross primary productivity
RE : Ecosystem respiration

31

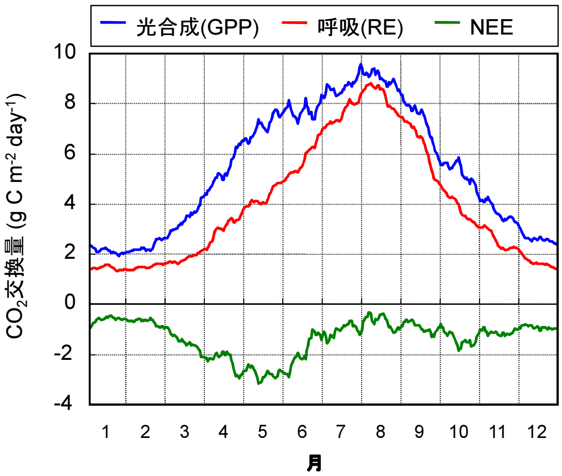
夜間呼吸の定式化



32

CO_2交換量の季節変化

NEE = RE − GPP

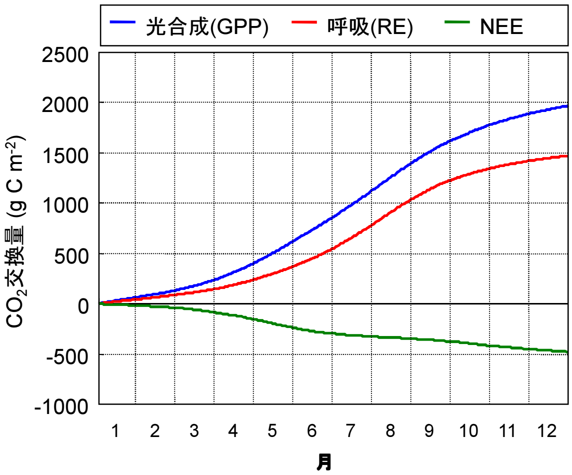


ヒノキ林のCO_2交換量：2000～2007年の平均的な季節変化

33

森林のCO_2収支

NEE = RE − GPP



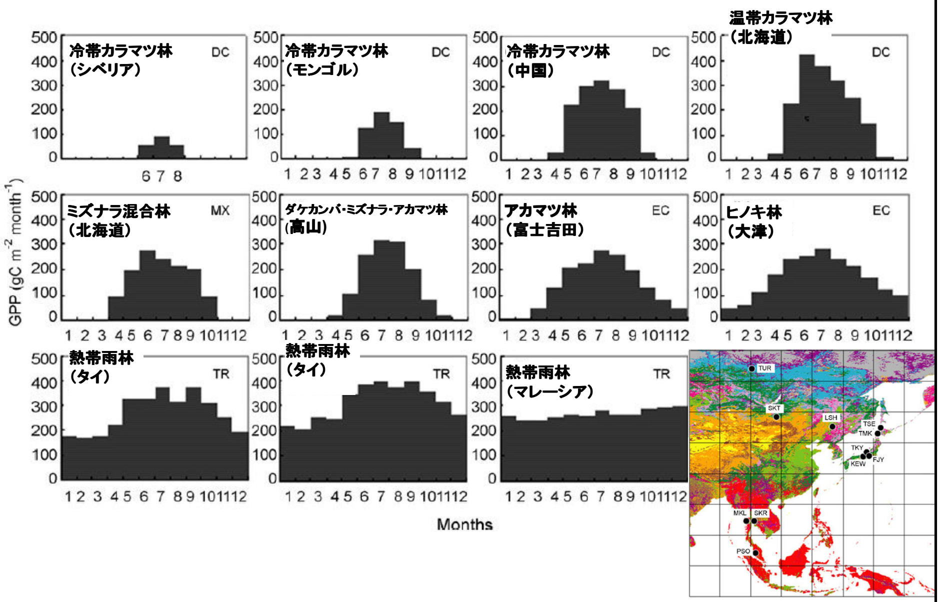
ヒノキ林のCO_2交換量：フラックスの積算値

＊数値は暫定値である。

34

(Saigusa et al., 2008)

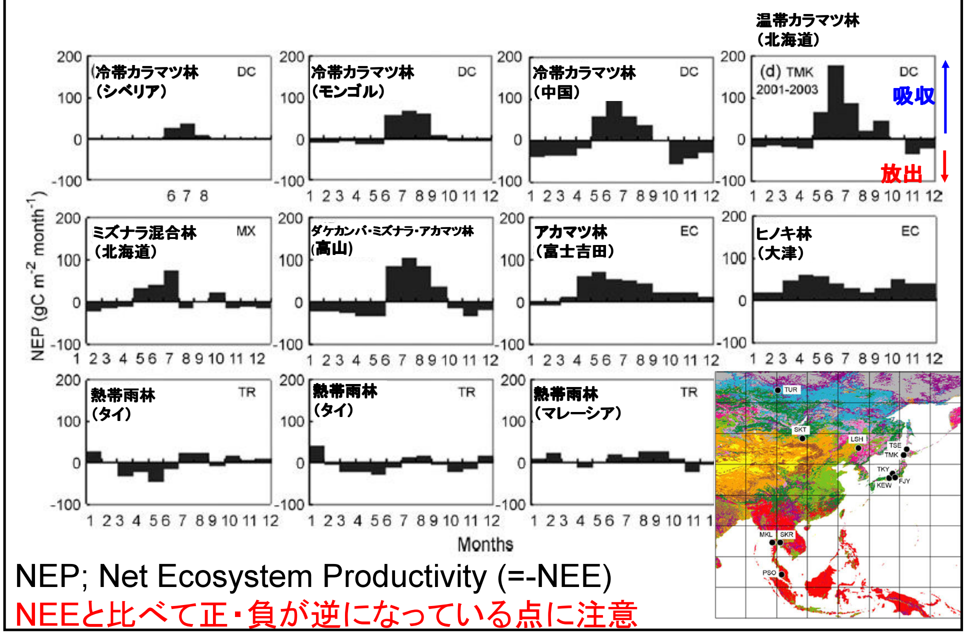
アジアの森林の群落光合量



35

(Saigusa et al., 2008)

アジアの森林のCO_2交換量



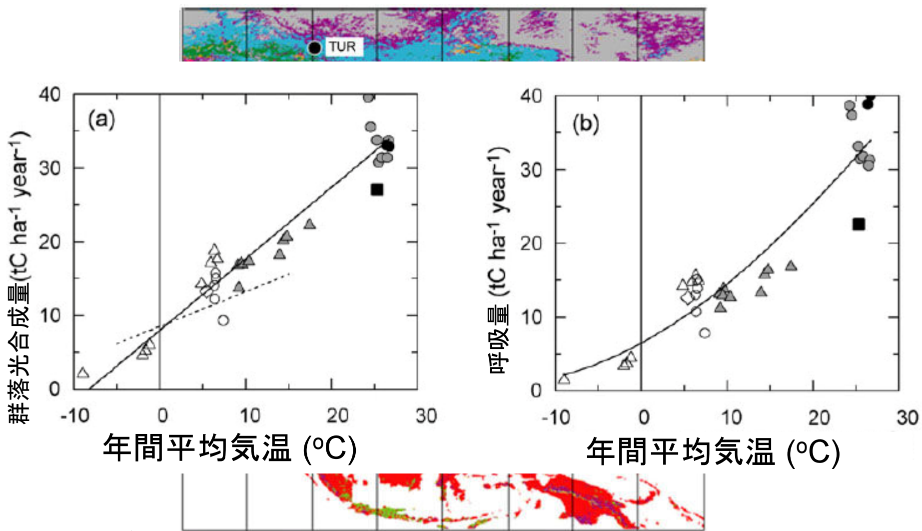
NEP; Net Ecosystem Productivity (=-NEE)

NEEと比べて正・負が逆になっている点に注意

36

(Hirata et al., 2008)

アジアの森林の群落光合量



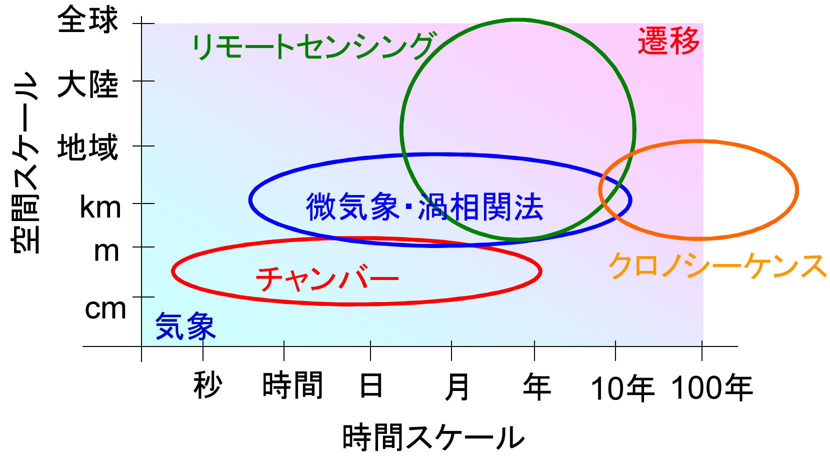
何が光合成量の空間的な分布を決めているのか？

37

クロノシーケンス研究への応用

クロノシーケンス

時間による変化を空間による変化で代用する手法



38

クロノシーケンス研究への応用

クロノシーケンス
100年単位のCO_2吸収量の変化を評価

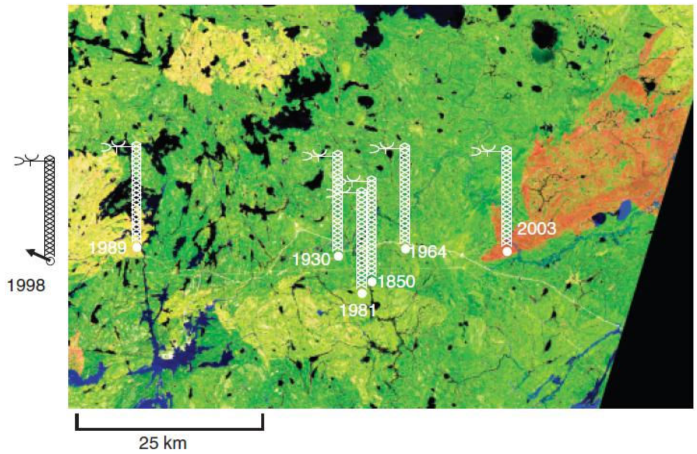
樹齢と景観 (アラスカなどの北方林の例)

百年程度の周期で攪乱が起こる。

39

クロノシーケンス研究への応用

攪乱前は、条件が同じと思われる場所で、
攪乱からの履歴が異なる多点で観測を行う。



観測のデザイン (カナダの森林の場合; Goulden et al., 2006)

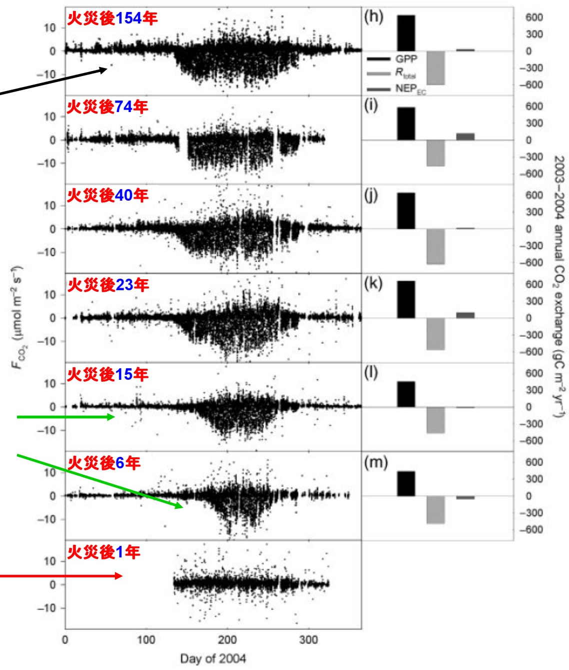
40

クロノシーケンス

極相林

吸収のピークは回復
生育期は短い

吸収も放出も少ない

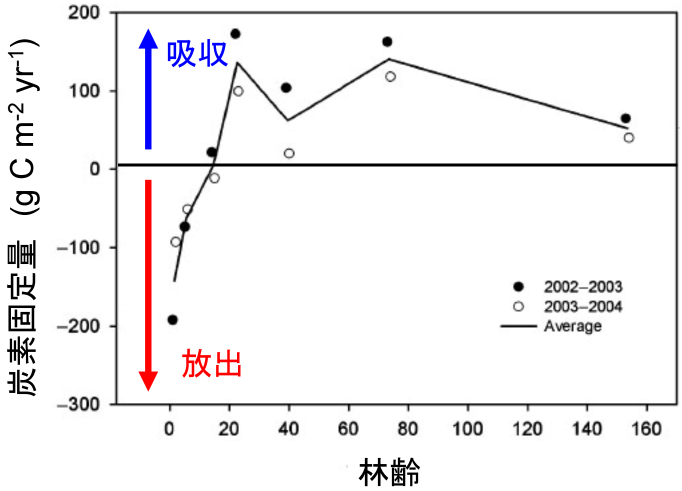


(Goulden et al., 2010)

41

クロノシーケンス研究への応用

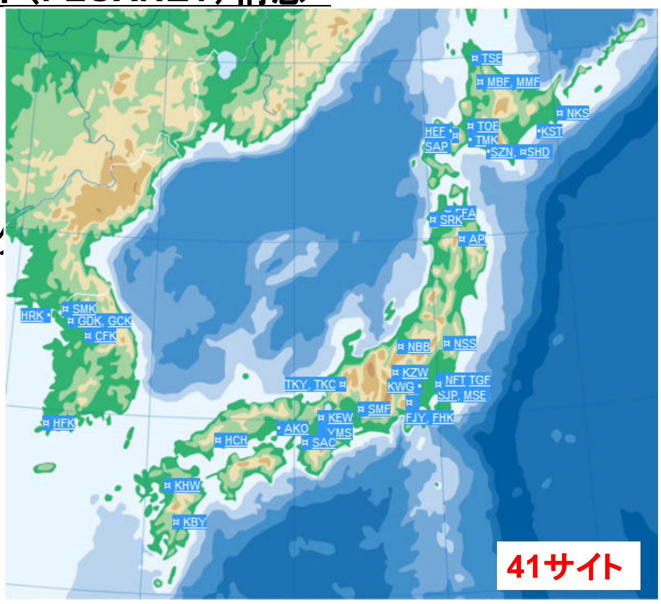
(Goulden et al., 2010)



42

フラックスネット(FLUXNET)構想

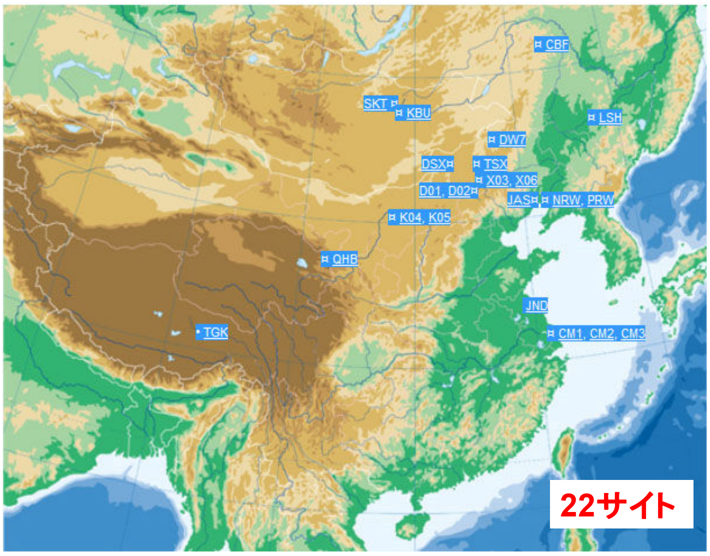
日本・韓国に



AsiaFlux website : http://www.asiaflux.net/

43

フラックスネット（FLUXNET）構想

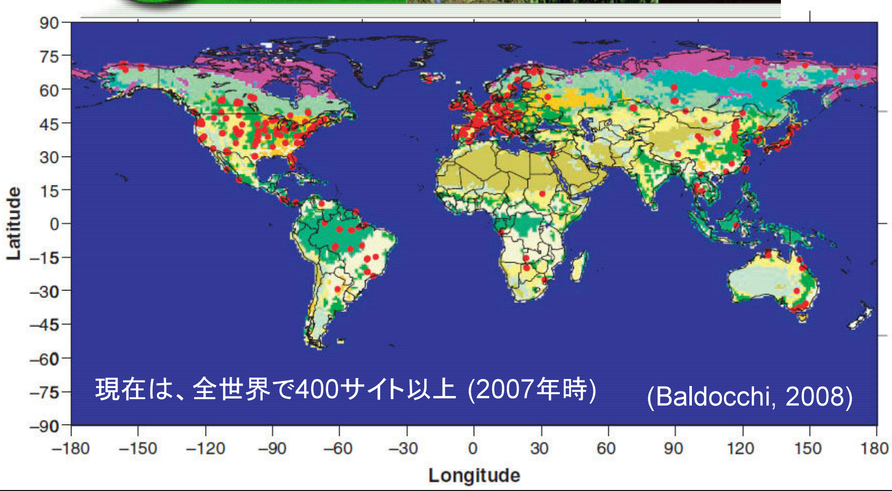


AsiaFlux website : http://www.asiaflux.net/

44

http://www.fluxnet.ornl.gov/fluxnet/index.cfm

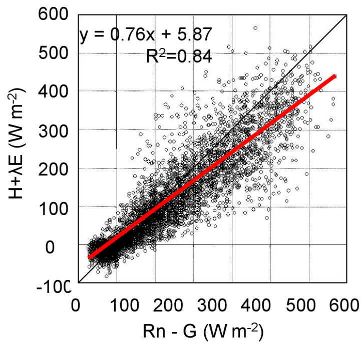
フラックスネット（FLUXNET）構想



45

微気象学的手法の課題

- 降雨時など気象条件の悪い時に計測できない。
- 夜間など安定時の測定精度
  光合成、呼吸の推定を夜間のデータに頼らざるをえない。
- CO_2以外の微量気体フラックスについて渦相関法の適用が困難
- 複雑な補正、欠測の補完方法
- 熱収支式が閉じない
  (エネルギー・インバランス問題)
  Rn = H + lE + G
- 複雑な地形、地表面への適用



46

復習事項

- 渦相関法の原理と乱流変動の特徴について
- CO_2フラックスから光合成量と呼吸量の評価法
- CO_2交換量の日変化、季節変化、樹種・場所による変化
- クロノシーケンス
- 微気象学的手法によるフラックス観測の課題

47

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 system. Australian J. Botany 56, 1-26.

Goulden, M. L., Winston, G. C., McMillan, A. M. S., Litvak, M. E., Read, E. L., Rocha, A. V., and Elliot, J. R. 2006. An eddy covariance mesonet to measure the effect of forest age on land-atmosphere exchange. Global Change Biology, 12, 2146-2162.

Goulden, M. L., McMillan, A. M. S. Winston, G. C. Rocha, A. V. Manies, K. L. Harden, J. W. and Bond-Lamberty、B. P. 2010. Patterns of NPP, GPP, respiration, and NEP during boreal forest succession. Global Change Biology. [doi: 10.1111/j.1365.2486.2010.02274.x]

Hirata, R., Saigusa, N., Yamamoto, S., Ohtani, Y., Ide, R., Asanuma, J., Gamo, M., Hirano, T., Kondo, H., Kosugi, Y., Li, S. -G., Nakai, Y., Takagi, K., Tani, M., Wang, H., 2008. Spatial distribution of carbon balance in forest ecosystems across East Asia. Agric. For. Meteorol. 148, 761-775.

文字信貴 2003. *植物と微気象 —群落大気の乱れとフラックス—.* 大阪公立大学共同出版会, 140pp.

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.

Saigusa, N., Yamamoto, S., Hirata, R., Ohtani, Y., Ide, R., Asanuma, J., Gamo, M., Hirano, T., Kondo, H., Kosugi, Y., Li, S. -G., Nakai, Y., Takagi, K., Tani, M., Wang, H., 2008. Temporal and spatial variations in the seasonal patterns of CO_2 flux in boreal, temperate, and tropical forests in East Asia. Agric. For. Meteorol. 148, 700-713.

Takanashi, S., Kosugi, Y., Tanaka, Y., Yano, M., Katayama, T., Tanaka, H., Tani, M., 2005. CO_2 exchange in a temperate Japanese cypress forest compared with that in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest. Ecol. Res. 20, 313-324.

JapanFlux website : http://www.japanflux.org/

AsiaFlux website : http://asiaflux.yonsei.ac.kr/index.html

FLUXNET website: http://www.fluxnet.ornl.gov/fluxnet/index.cfm