

Cosmic rays, Clouds, and Climate

Carslaw, Harrison, and Kirkby
2002, Science, 298, 1732

宇宙線と雲の関係

- 太陽活動の変化(周期11年)

太陽放射:

0.1% 小さい

⇒ $\Delta T = 0.1K$

宇宙線 :

15% 大きい

⇒ 雲量に影響?

宇宙線が増加すると

雲量も増加

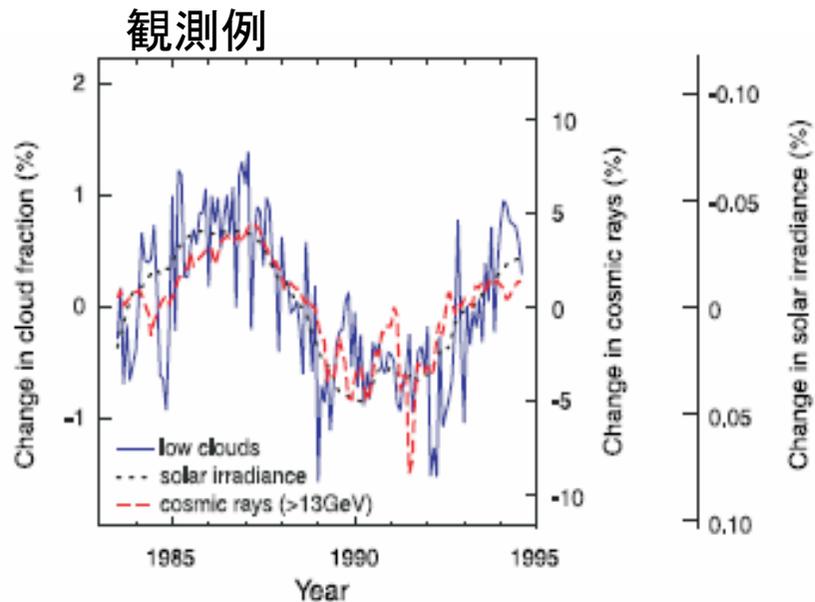
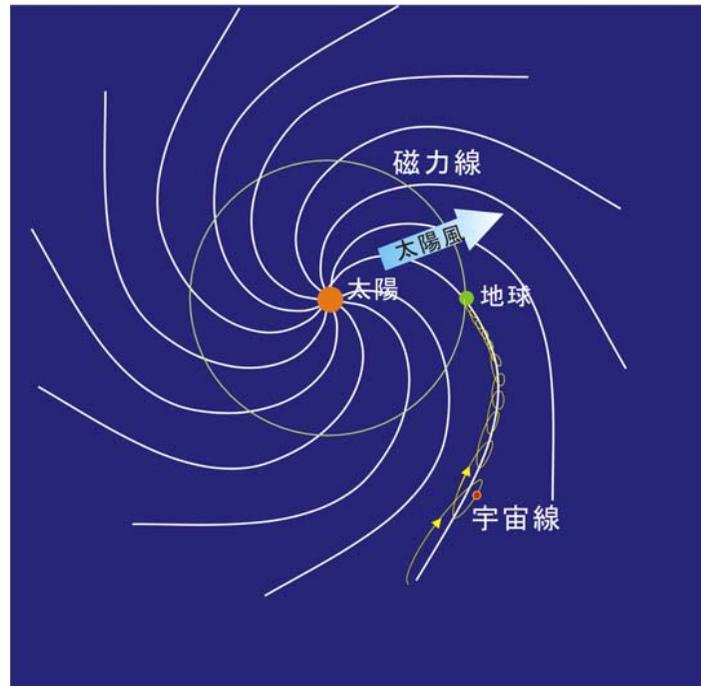


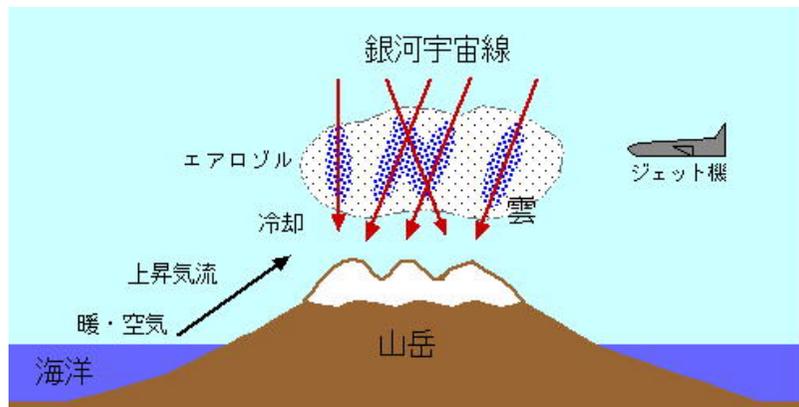
Fig. 1. Variation of low-altitude cloud cover, cosmic rays, and total solar irradiance between 1984 and 1994. The cosmic ray intensity is from Huancayo observatory, Hawaii. [Adapted from (4)]

雲量(下層雲)の変化
2%

太陽活動と宇宙線

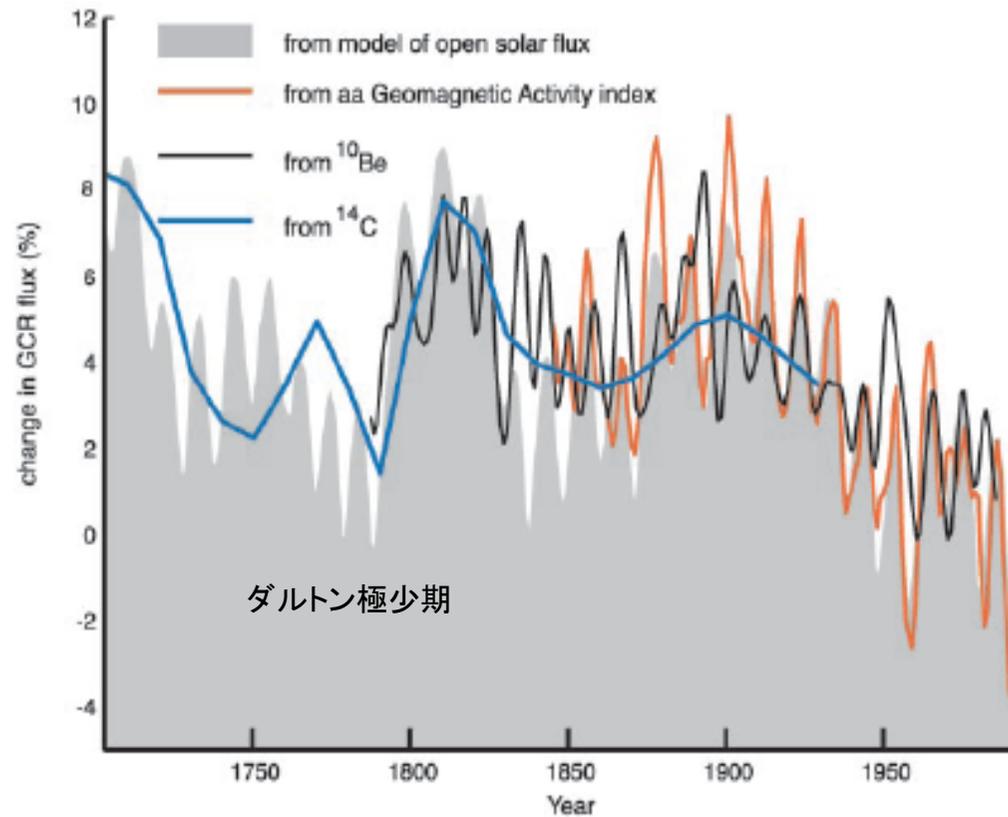


宇宙線は磁場に沿ってやってくる。太陽活動が強まれば宇宙線量は減少する。



名古屋大学
太陽地球環境研究所、太陽風研究室
<http://stesun5.stelab.nagoya-u.ac.jp/index-j.html>

宇宙線量の時間変化(1700-)



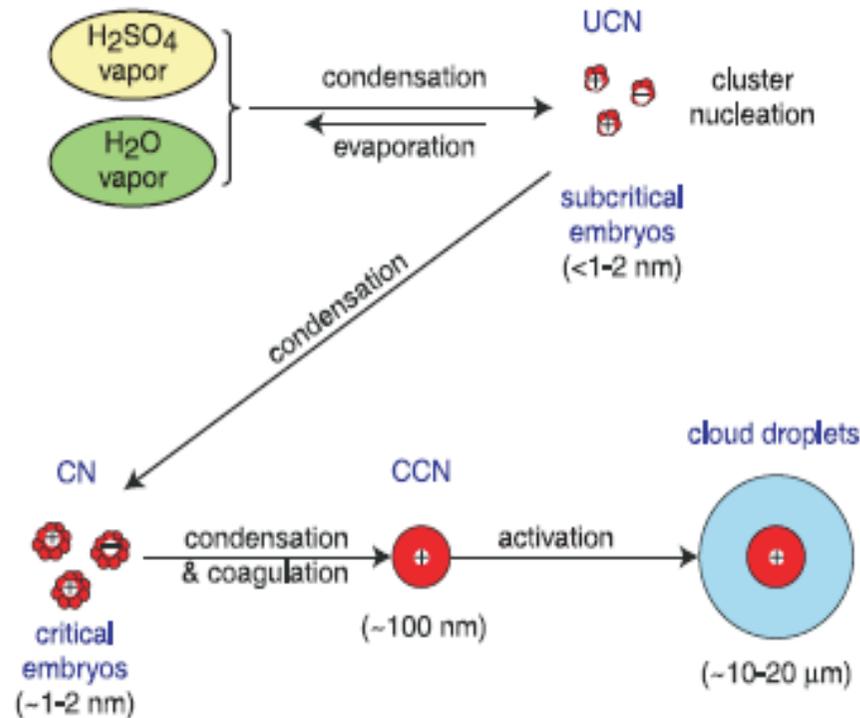
宇宙線

- 起源: 銀河宇宙線、超新星爆発等
- 1次宇宙線(陽子)
⇒2次宇宙線(電子、ミューオンなど)
- 大気イオンの生成: 宇宙線と大気分子の衝突
宇宙線によるイオン化率
2イオンペア $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ 地球表面
40(極地方)、500-3000(高度に依る)

物理プロセス

- 鍵となる量
 - 雲核 (CCN) の数密度 (←核の生成)
 - 氷晶の生成率 (←不均質核生成)
- 有力な2つのメカニズム
 1. ion-aerosol clear-air mechanism
 2. ion-aerosol near cloud mechanism

1. Ion-aerosol clear-air mechanism



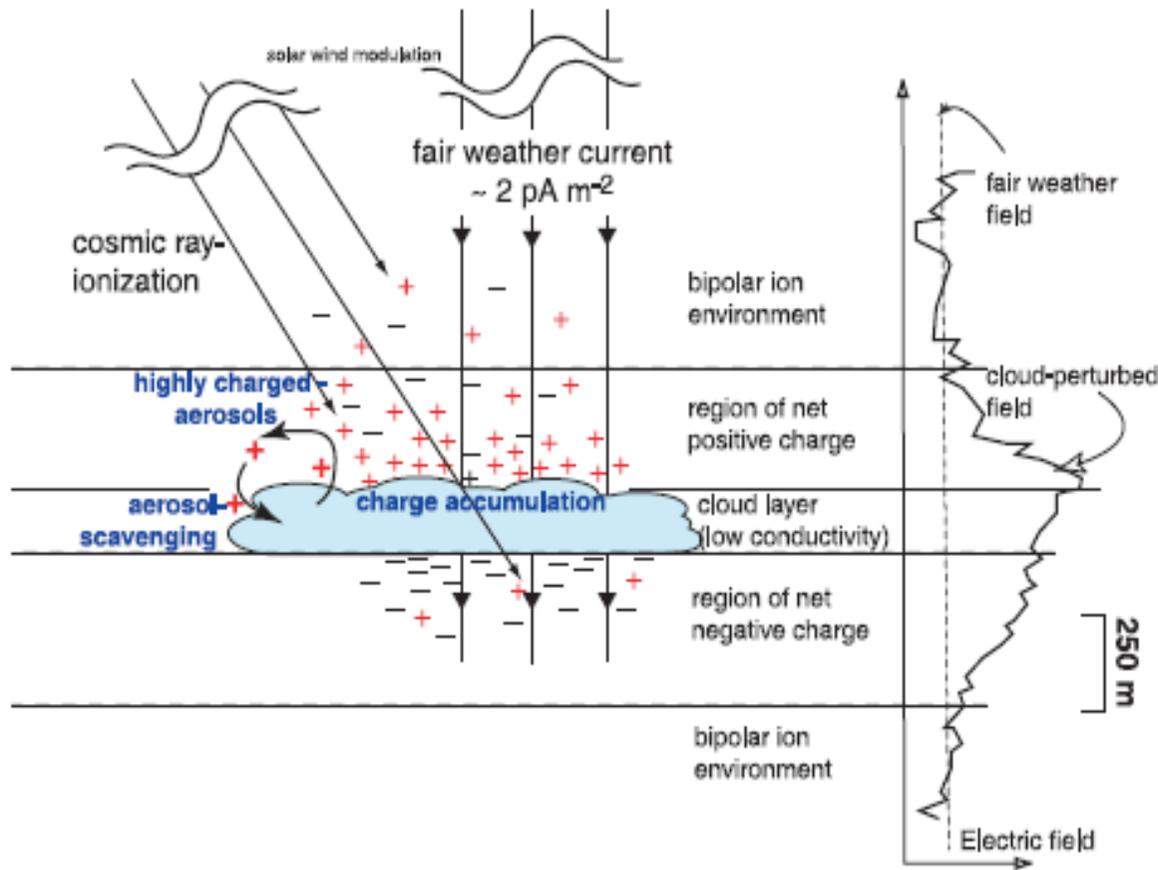
宇宙線照射の増加
↓
大気イオン生成
↓
凝結核生成率
増加

⇒ 雲量の増加
雲粒の成長が遅い
(雲寿命の増加)

1. Ion-aerosol clear-air mechanism

- イオンがエアロゾル生成および成長を促進
⇒ 雲核 ($\text{CCN} > 0.1 \mu\text{m}$) へ成長
古典的理論で予測される核生成率 (硫酸-水
2成分系) は観測より大きい ⇒ イオンの効
果？
- モデル計算
20%のイオン化率の変化
⇒ 3-10nmのエアロゾルが5-10%増加
エアロゾルの間接効果 (indirect effect) と類似

2. Ion-aerosol near-cloud mechanism



宇宙線照射の増加
↓
大気イオン生成
↓
雲周辺のエアロゾルの帯電率が増加
↓
氷晶の生成率が増加

定性的にしか分かっていない

議論

- 観測：宇宙線と雲量の相関
 - 未だ議論が続いている ⇒さらなる検証が必要
 - 衛星データの信頼性
 - 上層雲では逆相関？
- 宇宙線照射から雲生成までたくさんのプロセスを含む
 - 宇宙線と太陽活動の効果を分けるのは困難
- メカニズムの解明が必要
 - 観測：雲内のイオン、エアロゾル帯電等
 - 実験：イオン-エアロゾル-氷晶相互作用
 - モデル：イオン-エアロゾル-氷晶相互作用等
 - を取り入れた雲モデル