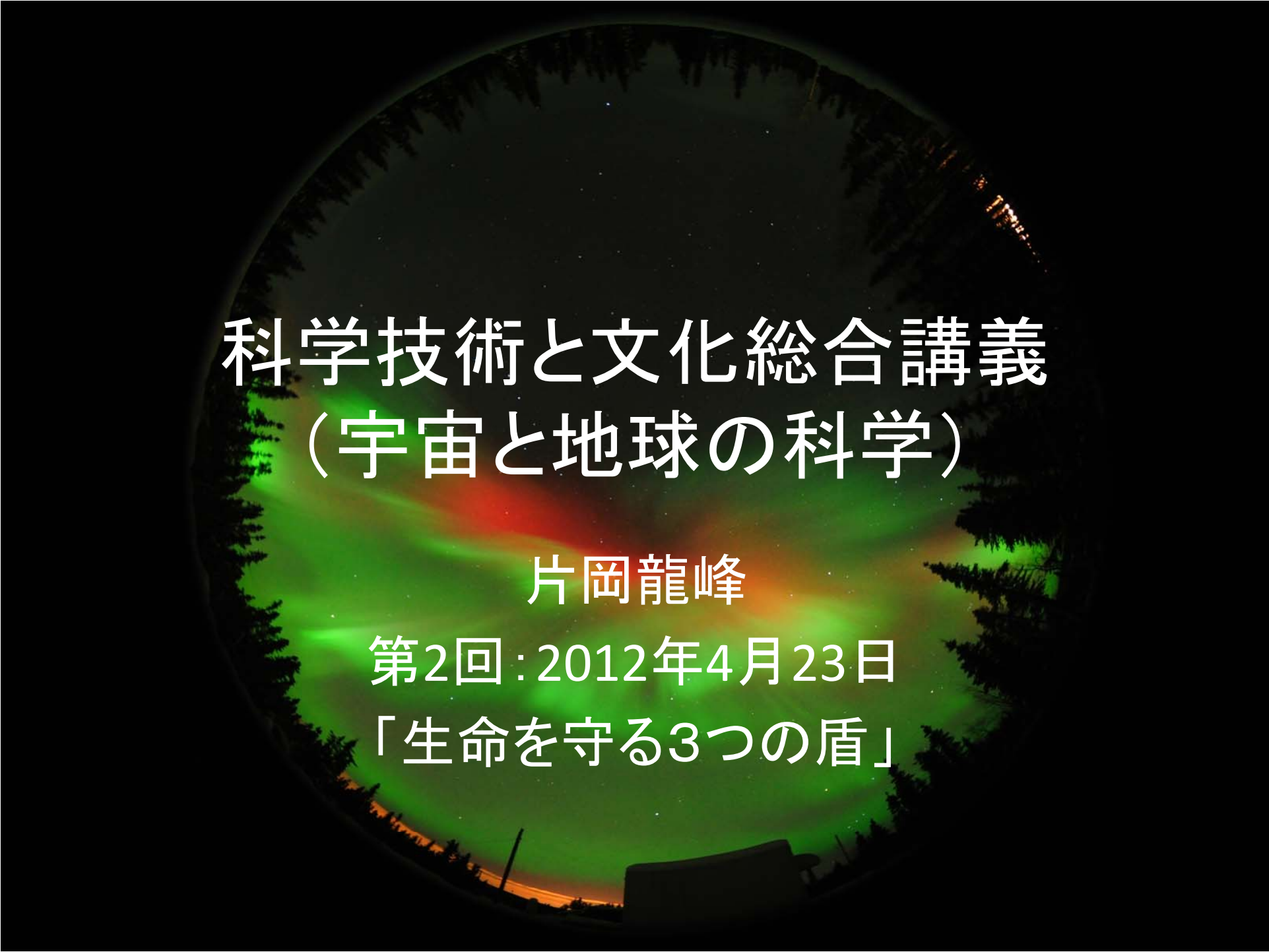




科学技術と文化総合講義 (宇宙と地球の科学)

片岡龍峰

第2回: 2012年4月23日
「生命を守る3つの盾」

アンケート結果

- 統計(初回の参加者)
 - 2年生と3年生が多い。
 - 理26＋経16＋法8＋文7＋自4の計61名がアンケート提出。
- 動機(シラバスを見て)
 - 宇宙・地球・オーロラの仕組みに興味あり学びたい。
 - 授業で得たことを友達に自慢したい。気分転換目的。
 - 成績評価にテストがないから履修する。
- 感想(実際ガイダンスを受けて)
 - 講義の中で出てくる数字が、とんでもなくでかいものばかり。
 - 難しい言葉が出てくる。文系にもわかりやすく説明しなさい。
 - 実際に体験してきた宇宙の不思議を話しなさい。
 - 温暖化問題についてコメントしなさい。
 - 発言したい。

アンケートに出てきたキーワード

- テレビ「宇宙の渚」
- 映画「宇宙戦艦ヤマト」
- 映画「はやぶさ」、スイングバイ航法
- 映画「2012」、極大期のフレア？
- 本「ホーキング」、「ドーキンス」
- マンガ「宇宙兄弟」
- 放射線、ベテルギウスの影響、ブラックホールは？
- 宇宙での環境や生活、ロボットの活躍、ロケットや宇宙船
- 宇宙の研究って具体的にどんなものか？
- 太陽について詳しく知りたい、日食とか？
- プラネタリウム・天文台が好き

以上、授業の参考にさせていただきます。

授業内容

- 1. 授業ガイダンス(オーロラ上映あり) 4月16日
- 2. 太陽地球環境1(大地から太陽系の果てまで)
- 3. 太陽地球環境2(生命を守る3つの盾「太陽風・地磁気・大気」) 4月23日
- 4. 太陽地球環境3(生命を脅かす3つの槍「宇宙線、宇宙塵、太陽紫外線」) 4月30日
- 5. 宇宙災害1(磁気嵐と大停電) 5月7日
- 6. 宇宙災害2(放射線帯と人工衛星障害) 5月21日(休講) 5月14日
- 7. 宇宙災害3(銀河宇宙線と太陽放射線被ばく) 5月28日
- 8. 宇宙天気予報1(世界の宇宙天気モニター) 6月4日
- 9. 宇宙天気予報2(宇宙天気の数値予報) 6月18日(休講) 6月11日
- 10. 太陽気候関係1(マウンダー極小期と魔女狩り) 6月25日(休講)
- 11. 太陽気候関係2(宇宙線雲仮説) 7月2日
- 12. 宇宙史と地球史1(暗い若い太陽のパラドックス) 7月9日
- 13. 宇宙史と地球史2(超新星と大絶滅) 7月16日
- 14. 宇宙史と地球史3(暗黒星雲と雪玉地球) +補講?
- 15. まとめ

* 授業の内容は進み具合や最新の話題に合わせて適宜調整します。

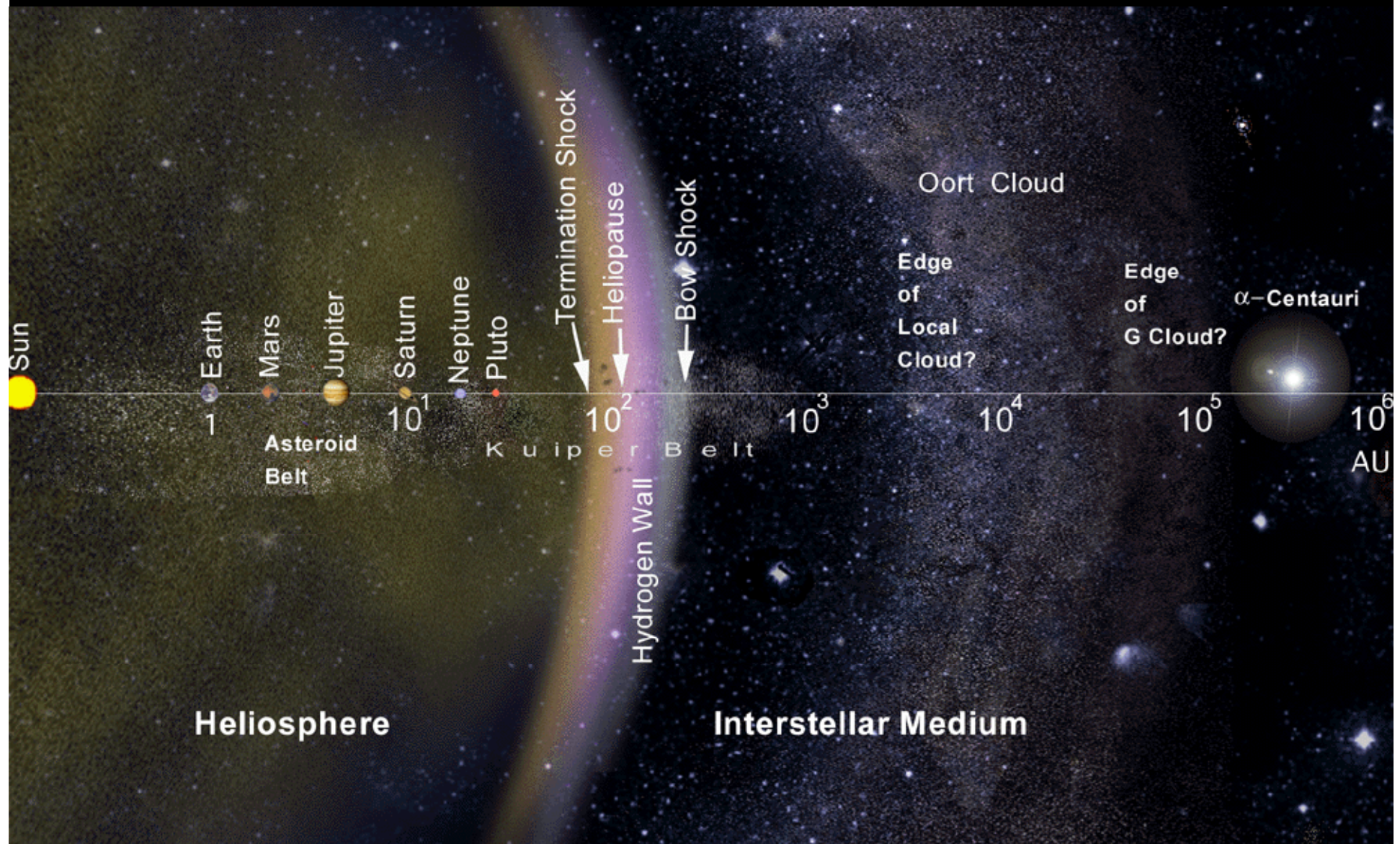
太陽地球環境

- 大地から太陽系の果てまで
 - 太陽圏
 - 電離圏-磁気圏
 - 対流圏-成層圏-中間圏-熱圏
- 生命を守る3つの盾
 - 第1シールド: 太陽風
 - 第2シールド: 地磁気
 - 第3シールド: 大気

今日の目標

- 第1、第2、第3シールドについて、家族や友人に説明する勇気を持つようになる。
- ほか今日の話題は
 - 宇宙線と航空機被ばく
 - オゾンホールと紫外線
 - 温暖化について
- 場所の名前を熱心に覚える必要はありません。
 - 誰かに意味を説明して間違うとすぐ覚えるでしょう。

第1シールド: 太陽風、太陽圏



太陽風はどこで止まる？

- ・地球に吹きつける太陽風の圧力は？

$$\overset{\substack{\nearrow \\ \text{陽子質量}}}{m} \rho v^2 = 1.3 \times 10^{-9} \text{ Pa} \left(\overset{\substack{\nearrow \\ \text{数密度}}}{\rho} \right) \left(\overset{\substack{\nearrow \\ \text{流速}}}{v} \right)^2$$

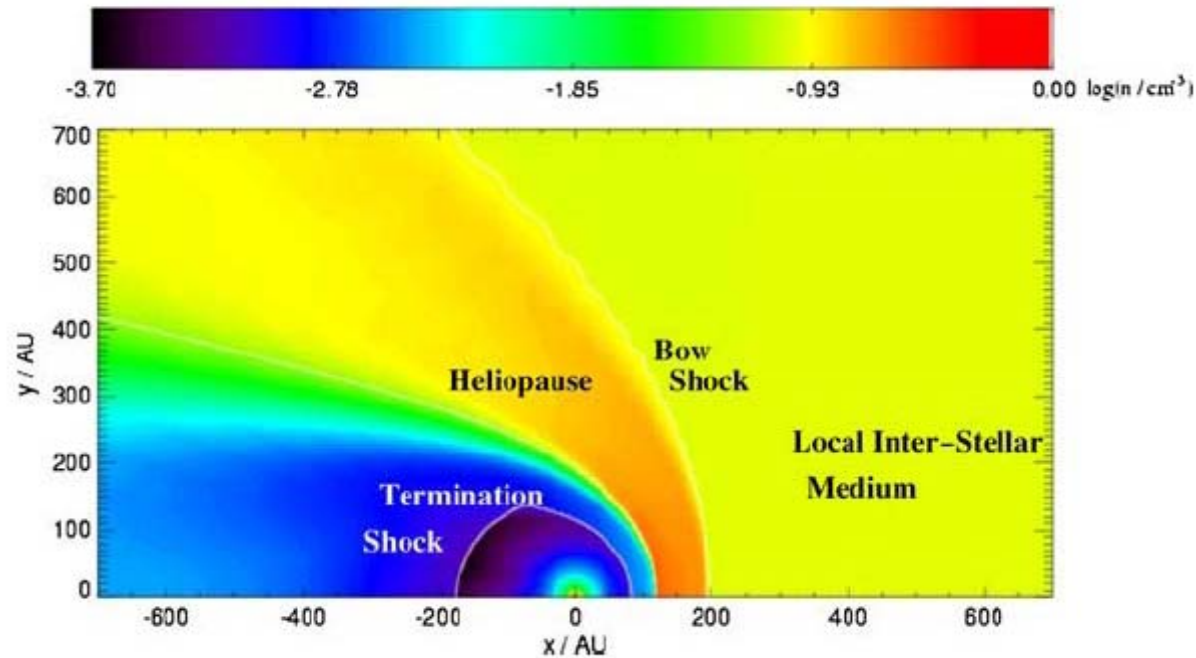
$\left(\frac{5 \text{ cm}^{-3}}{400 \text{ km s}^{-1}} \right)^2$

- ・太陽系に吹きつける星間風の圧力は？

$$m \rho v^2 = 0.13 \times 10^{-13} \text{ Pa} \left(\frac{\rho}{0.2 \text{ cm}^{-3}} \right) \left(\frac{v}{20 \text{ km s}^{-1}} \right)^2$$

100 AUの距離で太陽風の圧力は1万分の1になるため、釣り合う。
(太陽風の密度 ρ は、距離の自乗に反比例して小さくなる。)

実際は、もっと複雑



プラズマ流 400km/s → ← 中性流 26km/s

どちらも「超音速」だと両側に衝撃波が出来る。

太陽風 The Solar Wind

- 彗星の研究からの予言
 - Biermann (1952)
 - イオンの尾が彗星の軌道運動に無関係に太陽から径方向に向いているのは、太陽から荷電粒子の風、つまりプラズマの風が常に吹き出しているからだろう。
 - ダストは、太陽光の放射圧のために太陽の径方向に流されるが、彗星の軌道運動のためにやや曲がる。



ヘールボップ彗星、1997年3月29日Philipp Salzgeber撮影

本日のオススメ参考書

- 「太陽風」を提唱(1958)したPakerの本(英語)
 - 宇宙を支配する電磁流体を知りたい人へ。
 - Conversations on Electric and Magnetic Fields in the Cosmos
 - Eugene Newman Parker著
 - Princeton University Press (2007)

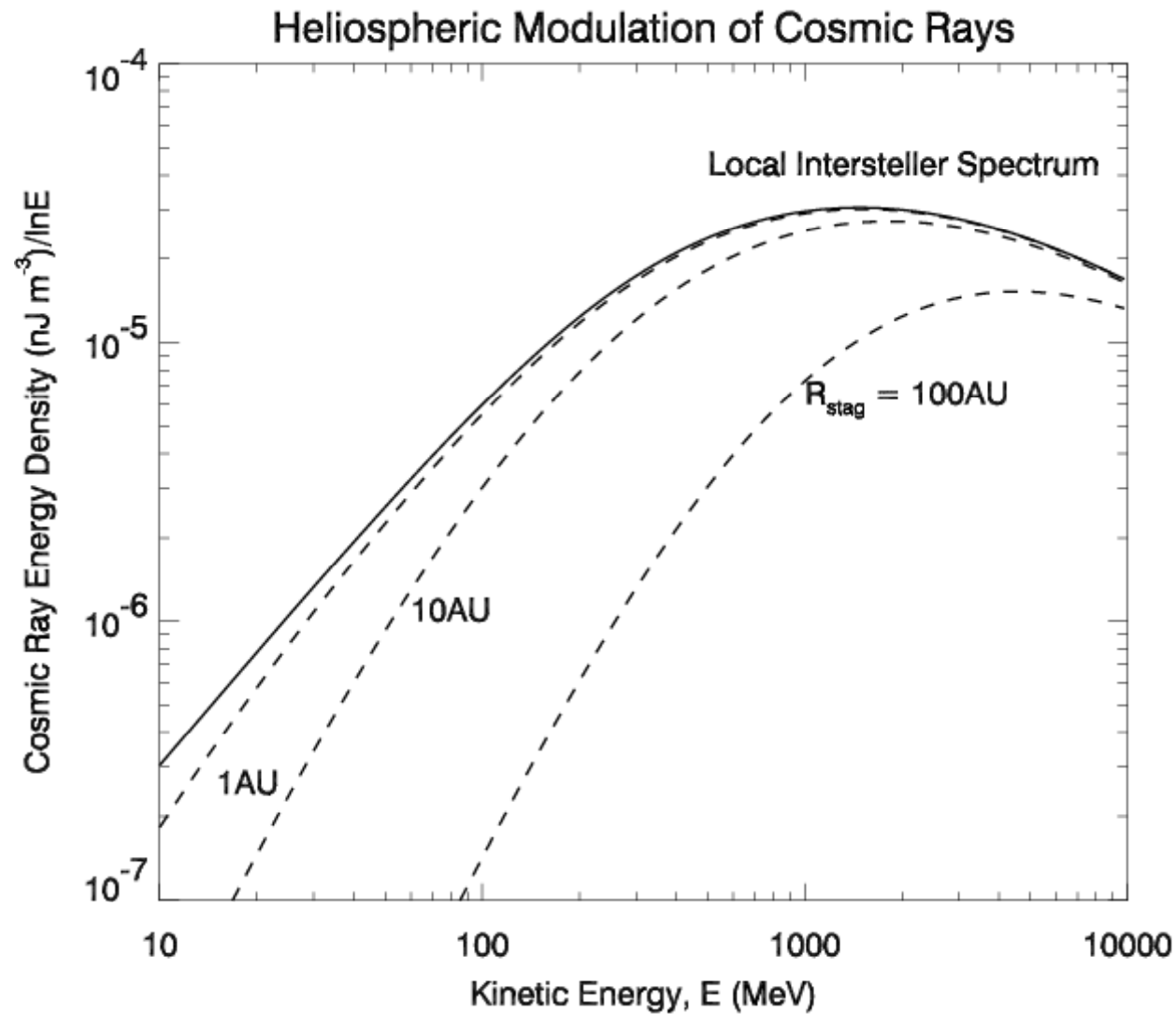


パーカー・スパイラル

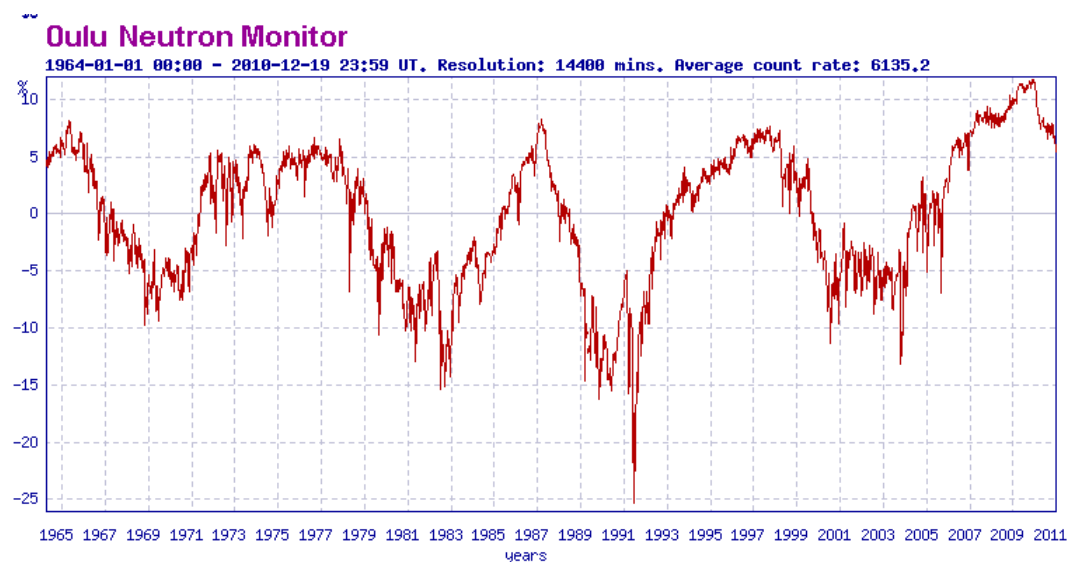
太陽から引っ張り出される太陽風の磁場は、スプリンクラーと同様の原理でスパイラル状になる。

計算してみました。

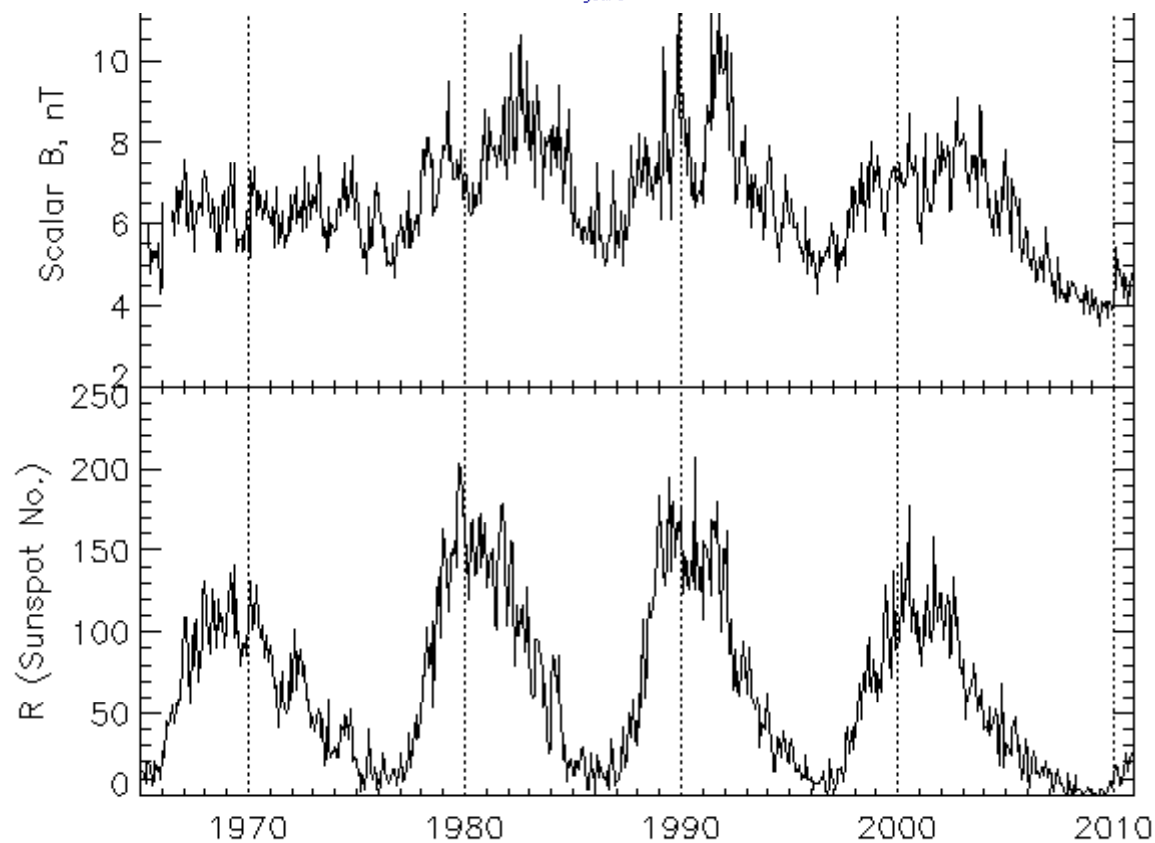
太陽圏が小さくなると？



宇宙放射線

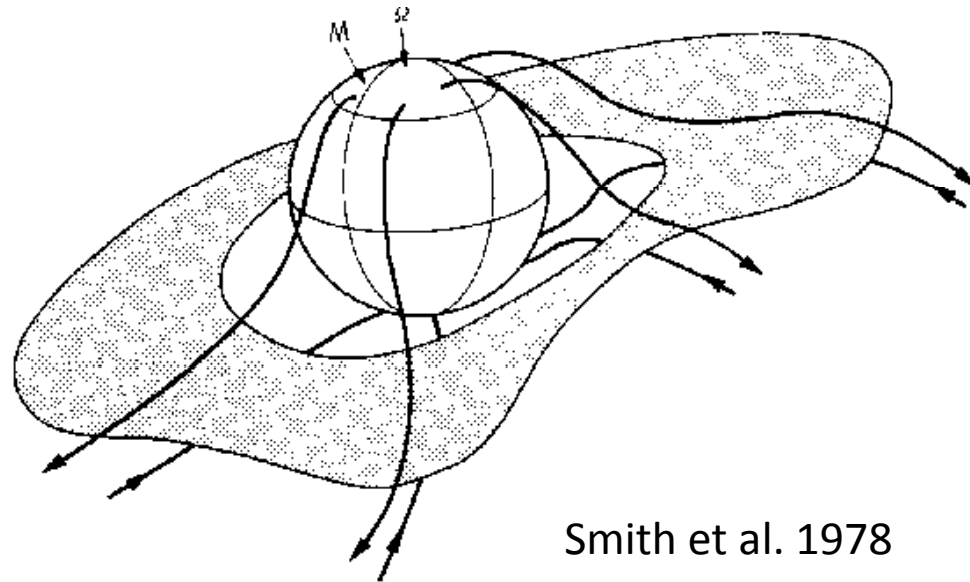


太陽風磁場



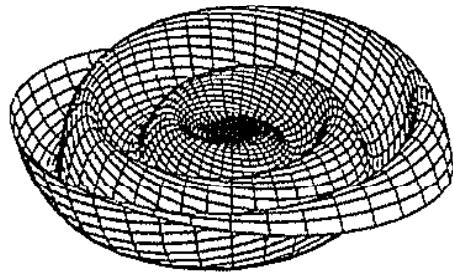
太陽黒点

バレリーナスカート

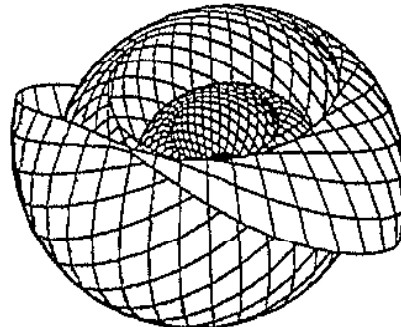


Smith et al. 1978

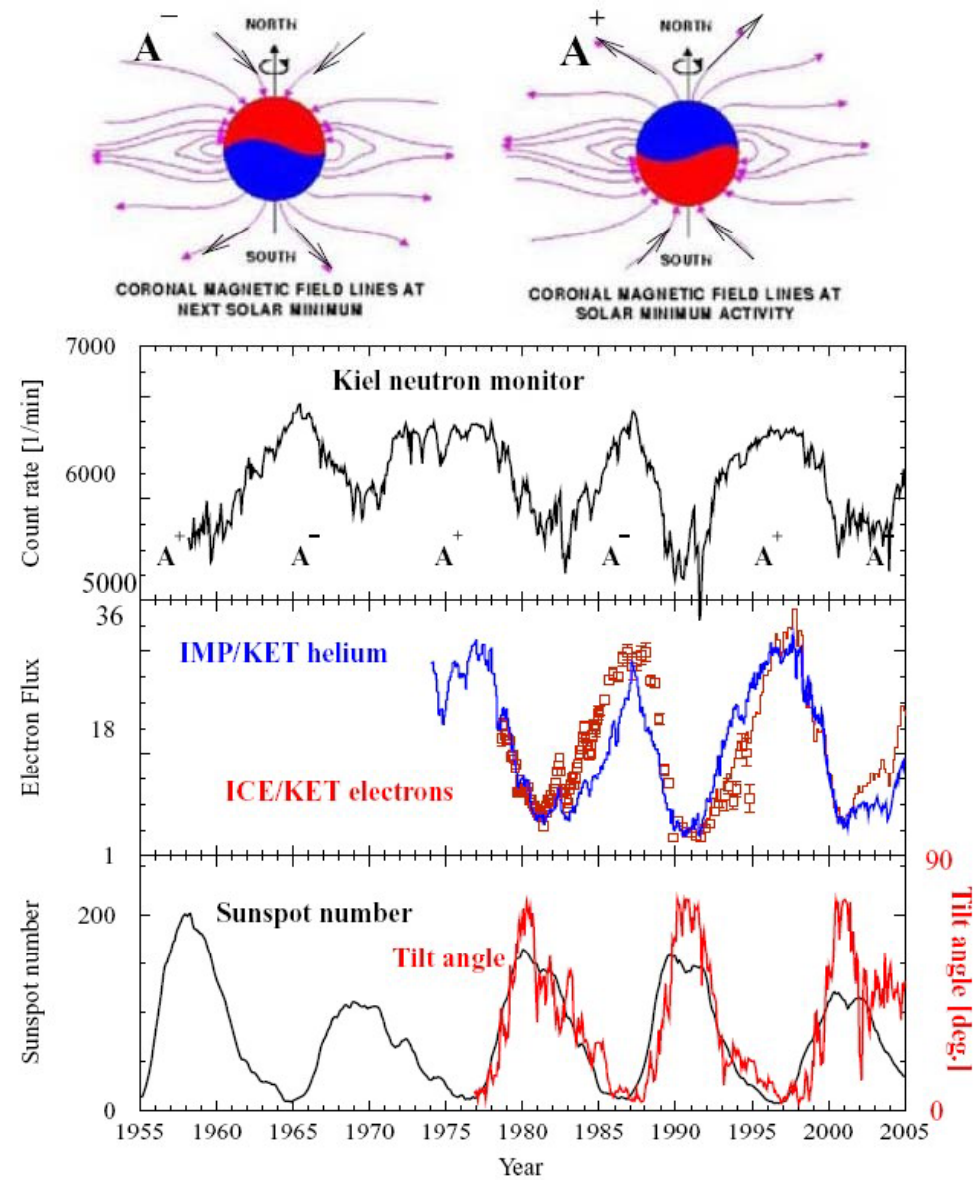
Solar Minimum



Solar Maximum

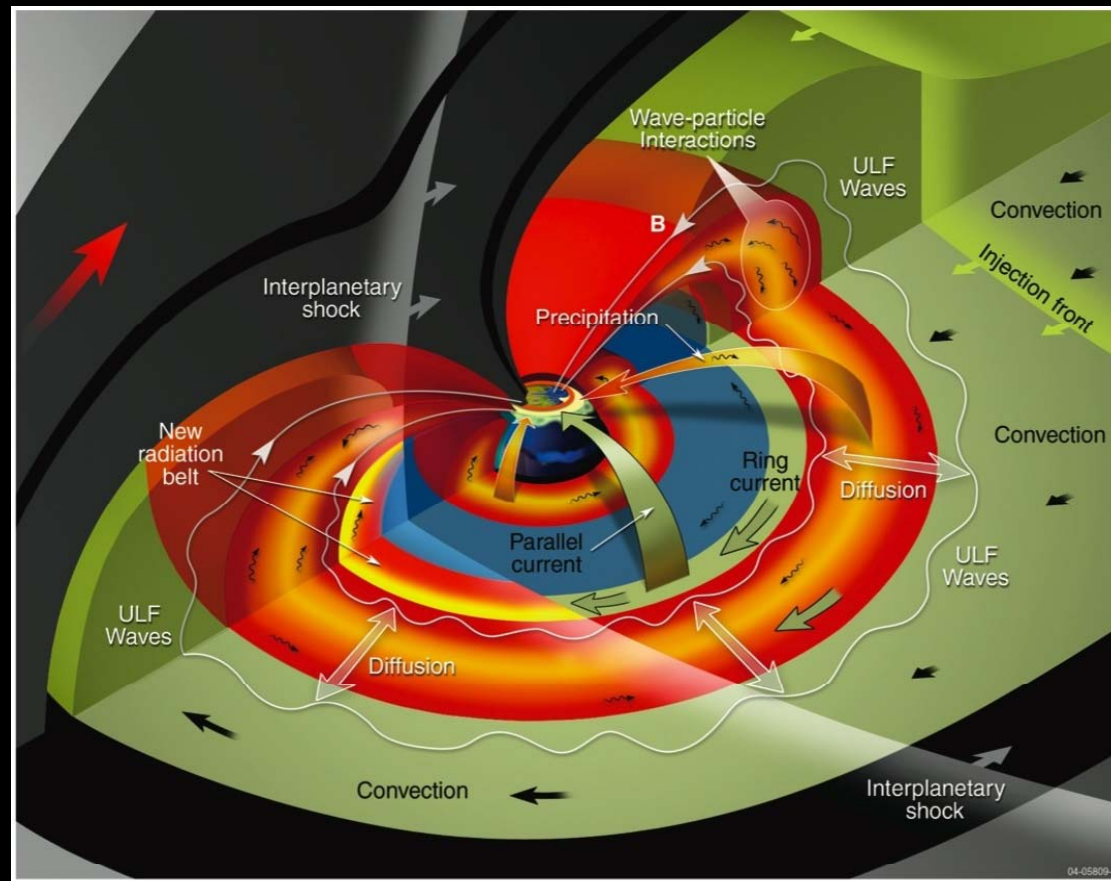


バレーナが上を向いたり下を向いたり、スカートが波打ったりすると、宇宙線が変わる



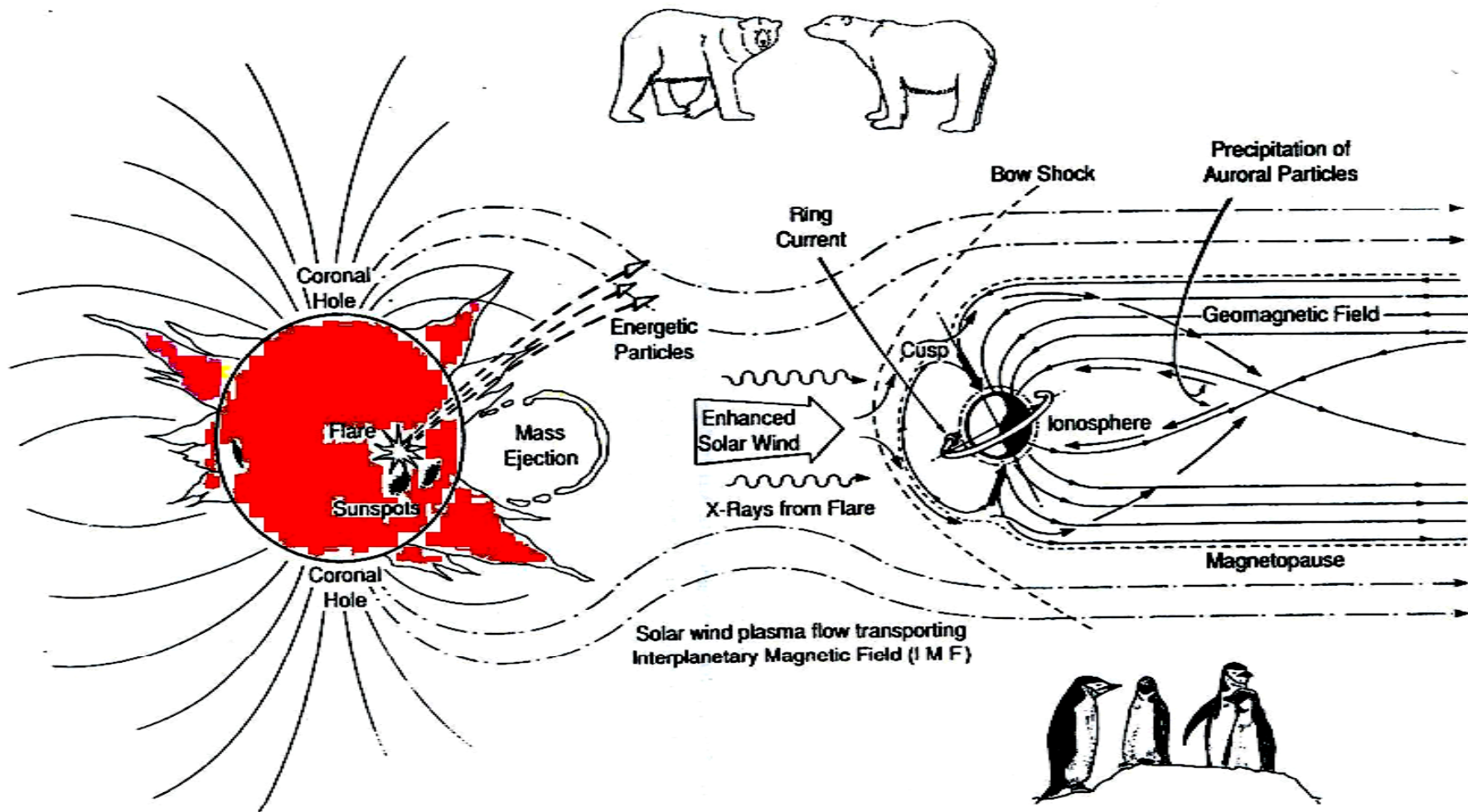
(Heber and Potgieter, 2006)

磁気圏 The Magnetosphere



オーロラの研究ってどんなもの？→ムービーで紹介

Solar-Terrestrial Environment



The high-latitude zones within the solar-terrestrial environment. After *Synoptic Data for Solar-Terrestrial Environment*, The Royal Society (September 1992). Wildlife by J. C. Hargreaves.

計算してみよう。

どこで太陽風を食い止める？

- ・地球に吹きつける太陽風の圧力は？

$$m_p \rho v^2 = 1.3 \text{ nPa} \left(\frac{\rho}{5 \text{ cm}^{-3}} \right) \left(\frac{v}{400 \text{ km s}^{-1}} \right)^2$$

陽子質量: $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

数密度

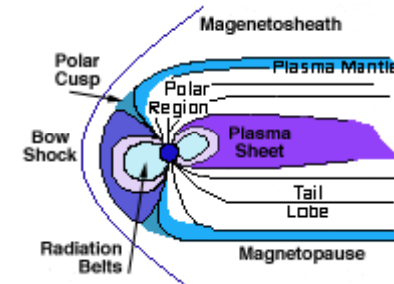
流速

- ・静止軌道(地球中心から6.6地球半径)での磁場の圧力は？

$$\frac{B^2}{2\mu_0} = 8.0 \text{ nPa} \left(\frac{B}{100 \text{ nT}} \right)^2$$

磁場強度

真空の透磁率: $4\pi \times 10^{-7}$



電離圏はどんなところ？

- オーロラ
 - オーロラは極域の大気と宇宙の見える境界
- 国際宇宙ステーション
 - 中低緯度の有人宇宙活動の場
- 大気光と熱圏
 - 中性大気との共存。近場なのでロケットによる直接観測もよくおこなわれている。

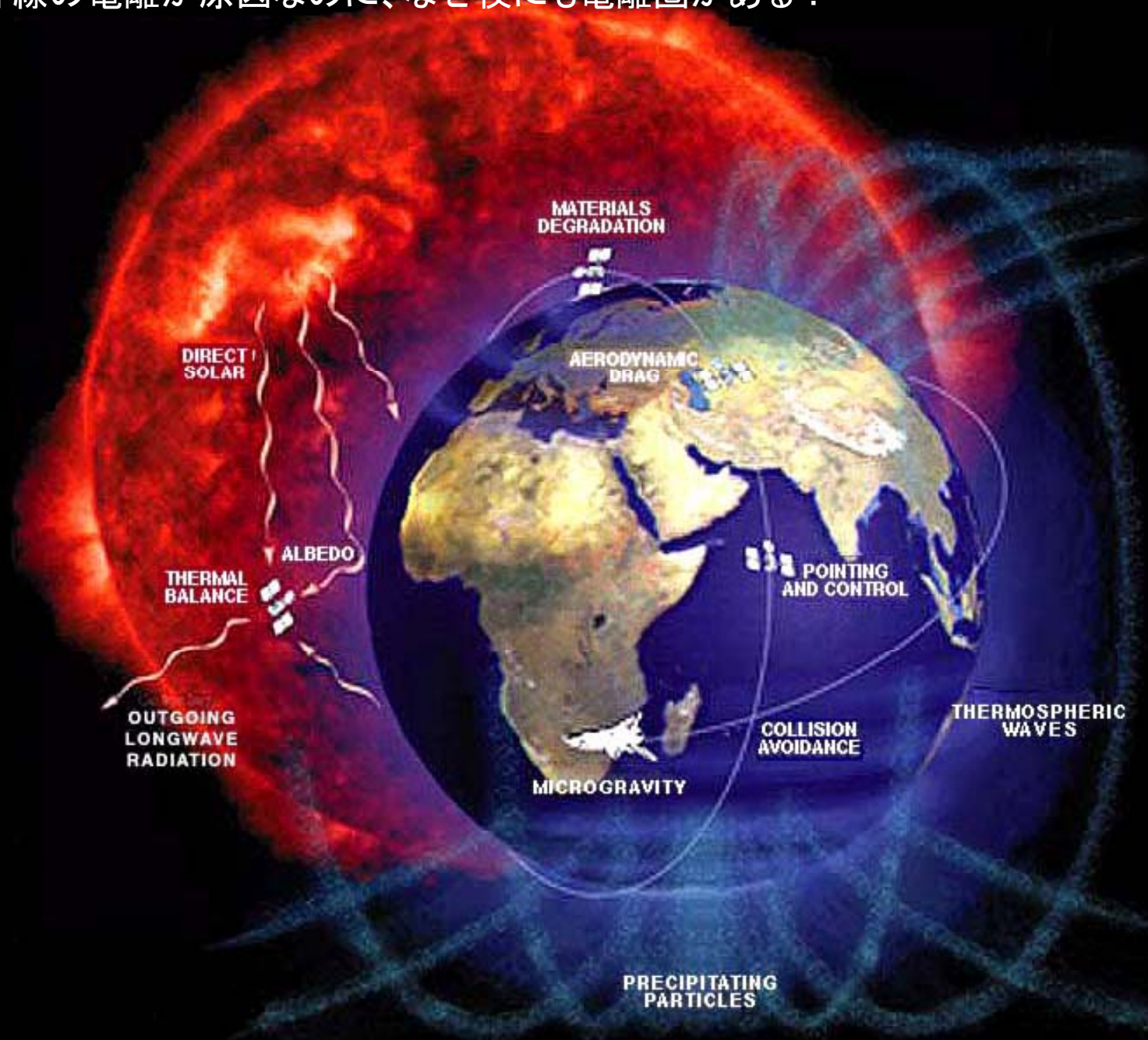
電離圏 Ionosphere

10 MHz帯



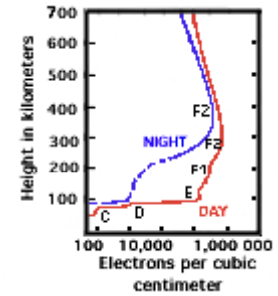
- 短波を反射する電離層の発見(1927)により、Edward V. Appletonがノーベル賞受賞(1947)
 - 地磁気変化から電離圏電流の存在を予言した Balfur Stewart (1882)
- 太陽紫外線やX線が中性大気を電離している。
 - 極域では、オーロラ粒子、放射線帯粒子、太陽放射線でも電離する。
- 部分電離(電離度0.1%以下)のプラズマ状態
 - 大気と宇宙の境界をなして地球を取り囲んでいる。

太陽紫外線の電離が原因なのに、なぜ夜にも電離圏がある？

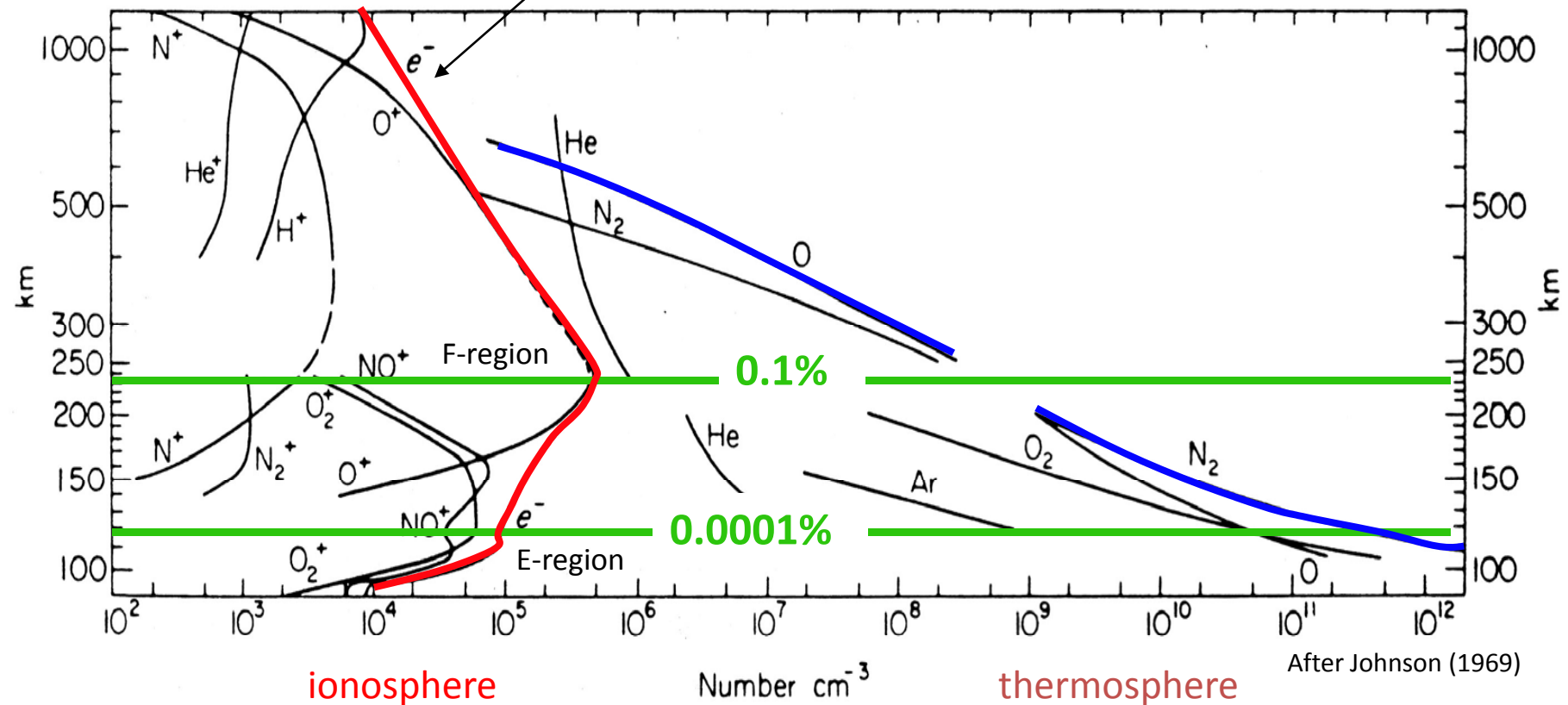


太陽紫外線の電離が原因なのに、なぜ夜にも電離圏がある？

電離圏と熱圏

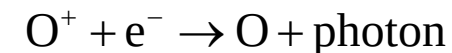
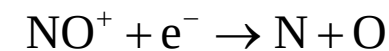


Topside profile is determined by the ambipolar diffusion

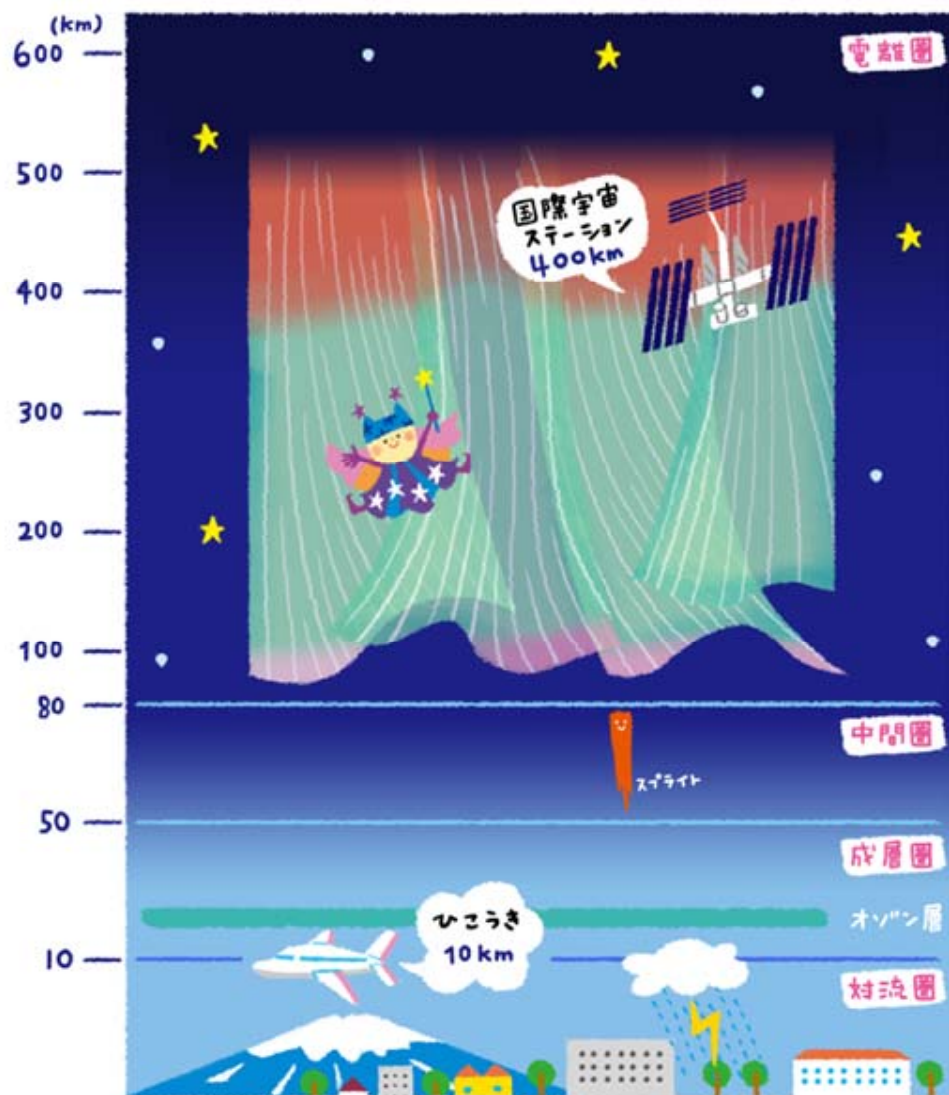


1. Dissociative recombination (molecular, fast):

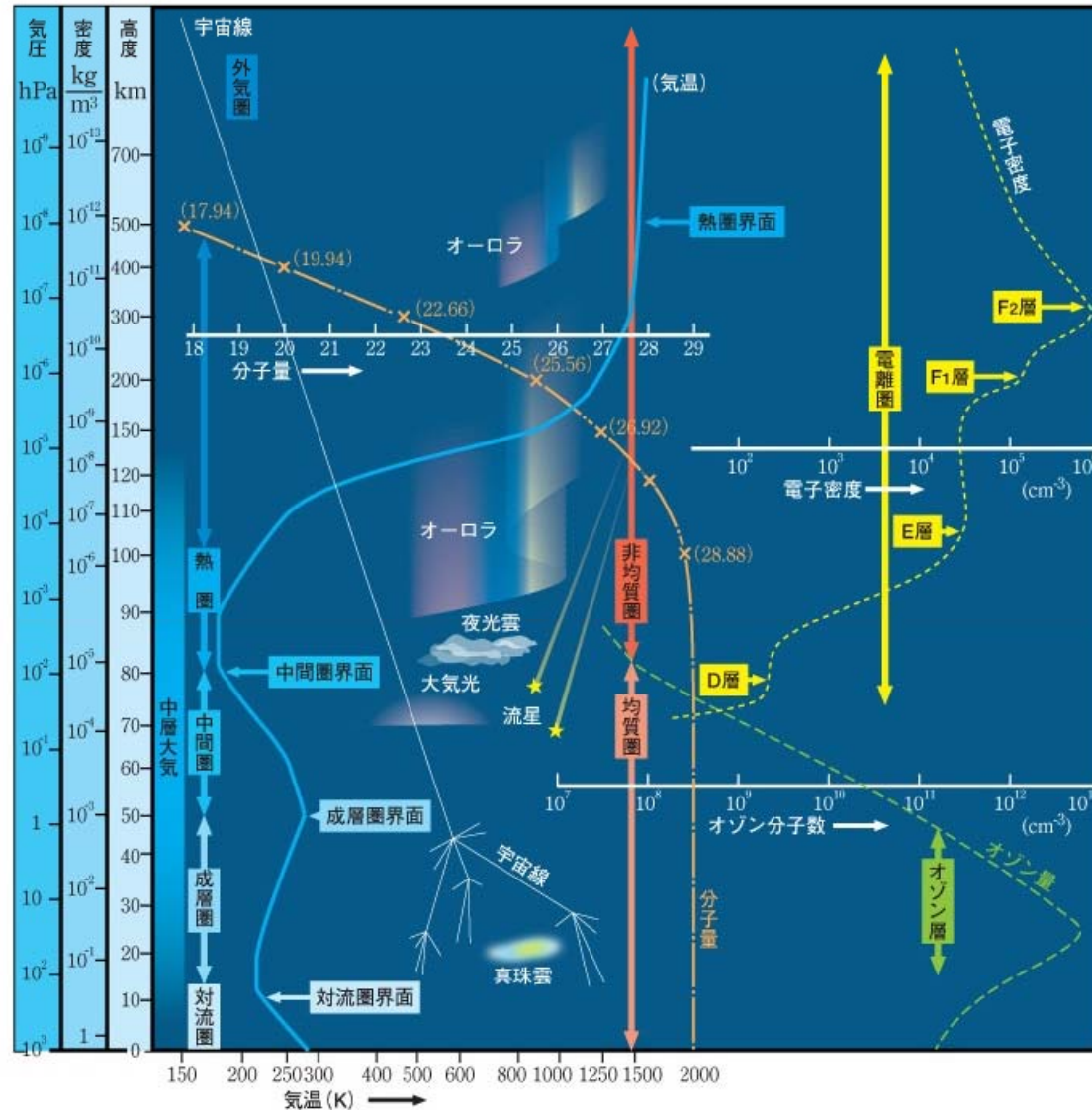
2. Radiative recombination (atomic, slow):



スプライト？



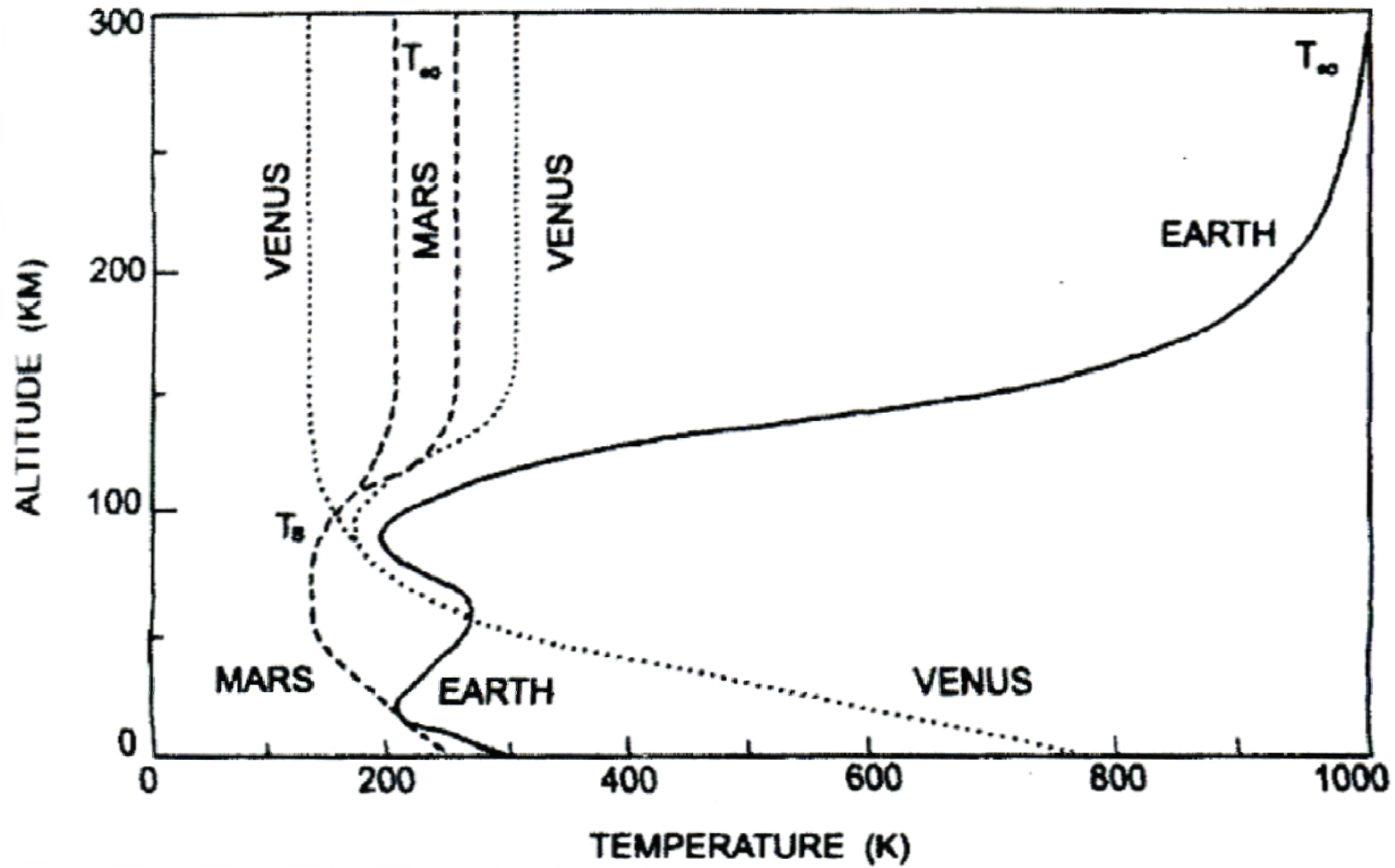
対流圏、成層圏、中間圏、熱圏



大気は毎日数百
トン宇宙へ流出。

流星塵は毎日数
十トン地球に降り
積もる。

金星、火星にオゾン層はない



Bauer (2004)

計算してみよう。

大気密度は指数関数的に減る

- なぜ？

$$\frac{\partial p}{\partial z} = mng, \quad p = nk_B T$$

気圧 数密度 ボルツマン定数: 1.38×10^{-23} 気温

静水圧平衡

$$n = \exp\left(\frac{z}{H}\right), \quad H = \frac{k_B T}{mg}$$

高度

スケールハイトH

重力定数: 9.8 m s^{-2}

陽子質量 x 平均分子量
陽子質量: $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
平均分子量: 29

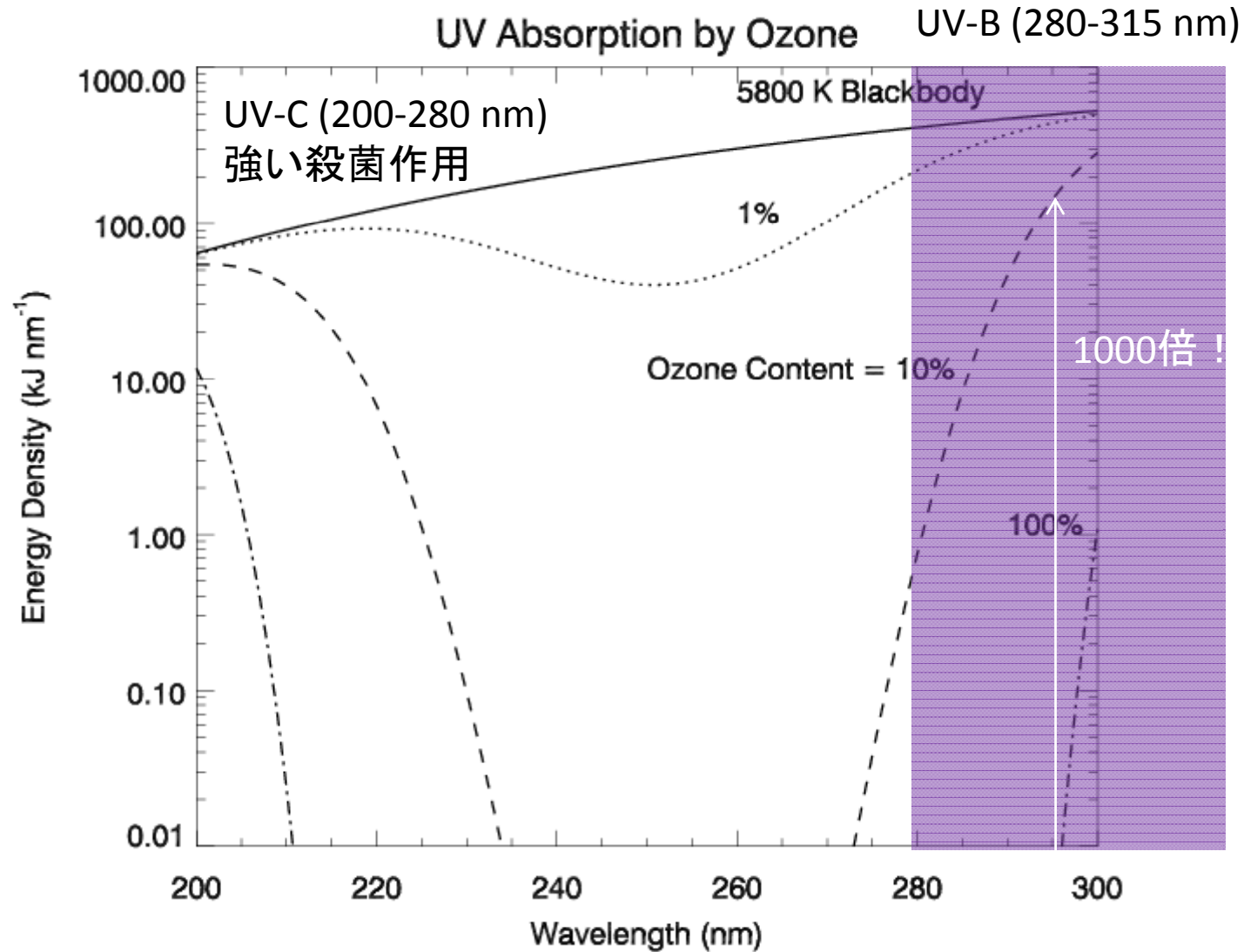
コタエ: $H = 7.85 \text{ km}$ ($T = 270 \text{ K}$)

お肌に悪い紫外線？

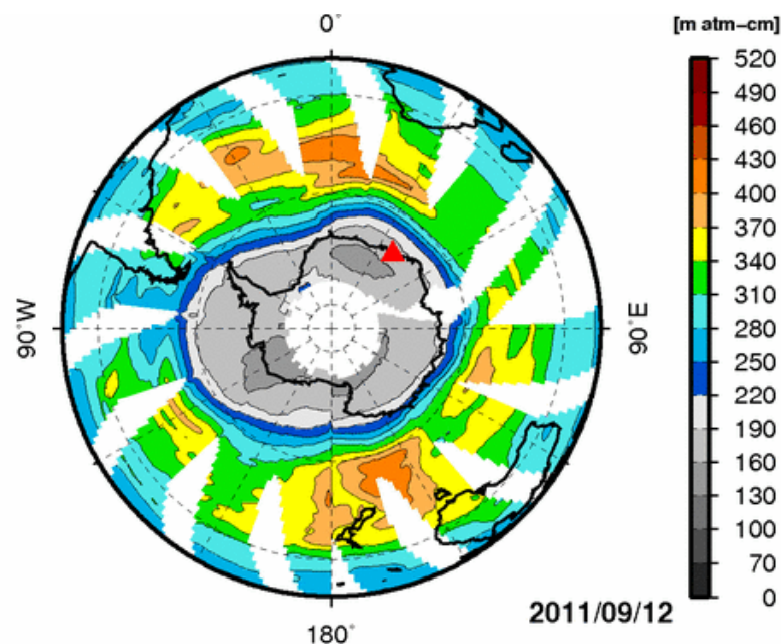
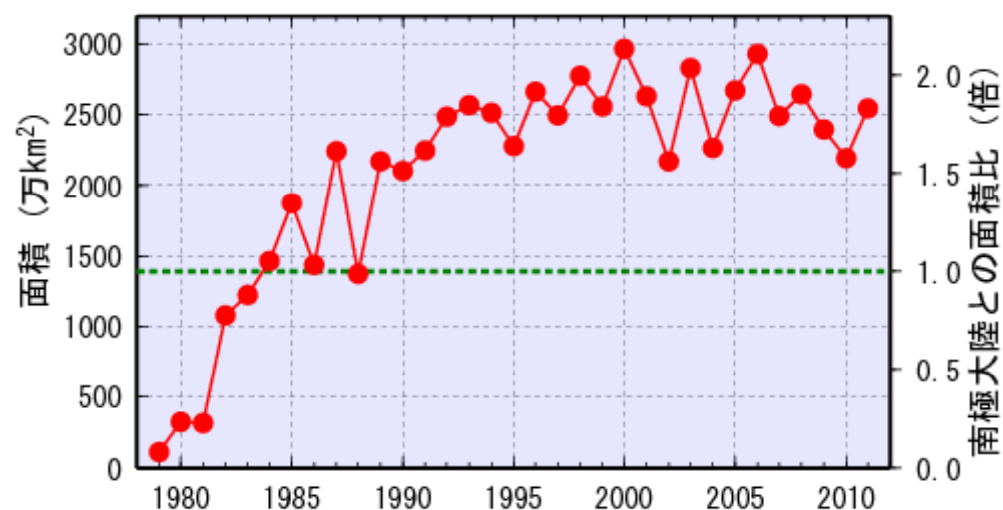
- 紫外線UV-B (280-315 nm)
 - 太陽光線の由来のもののうち、0.5%が大気を通過する。表皮層に作用するが、色素細胞がメラニンを生成し防御反応を取る。いわゆる日焼け。
- SPF30の日焼け止めを利用した場合、赤い斑点が現れる時間を30倍に延ばすことができる。
 - SPFは化粧品を1平方センチメートル当たり2mgずつ皮膚に塗ったときの値、らしい。

計算してみました。

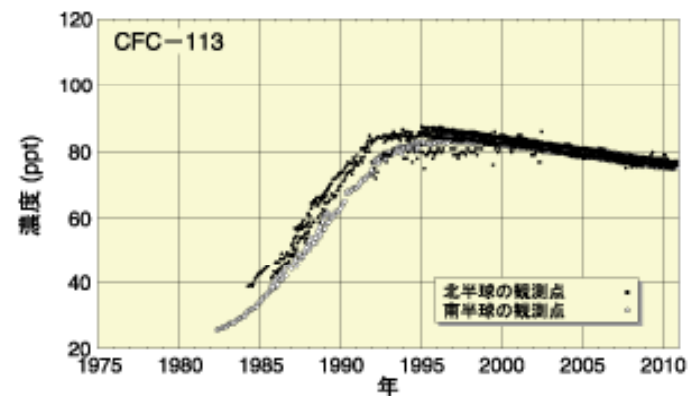
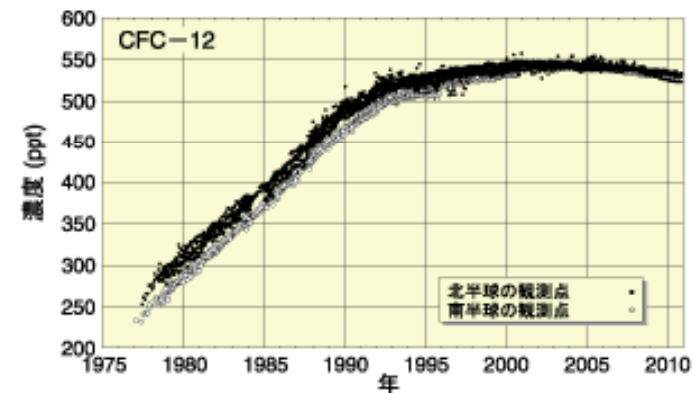
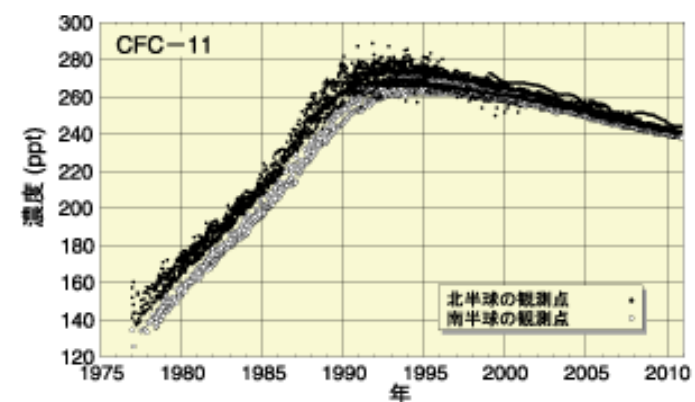
オゾンが減ると？



成層圏ニュース: 南極上空ではオゾン層の大規模な破壊が続いている。

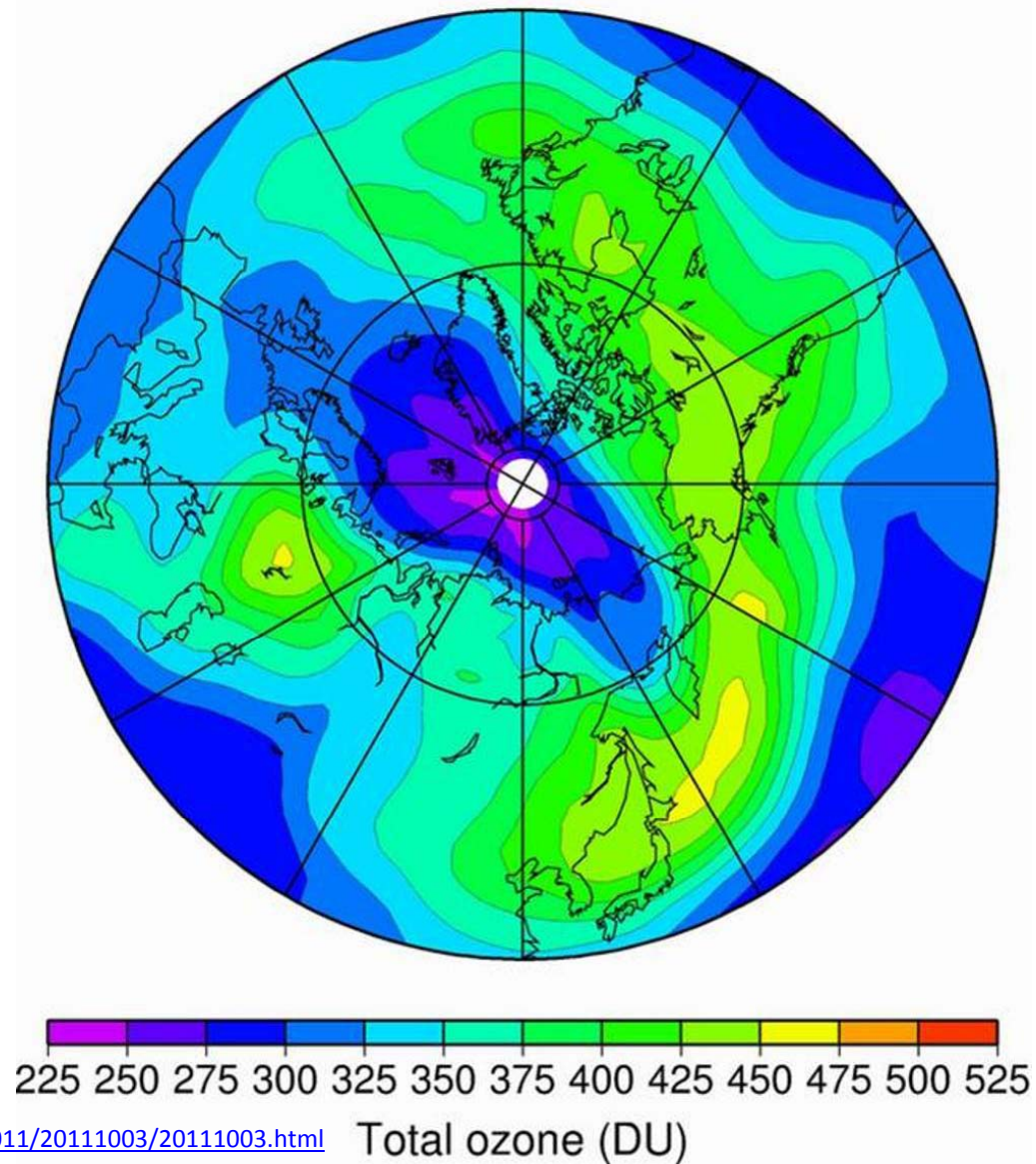


米国航空宇宙局(NASA)の衛星観測データを基に作成 気象庁



北極上空のオゾン破壊が観測史上初めて南極オゾンホールに匹敵する規模に
(Manney et al., Nature 478, 469-475, 2011)

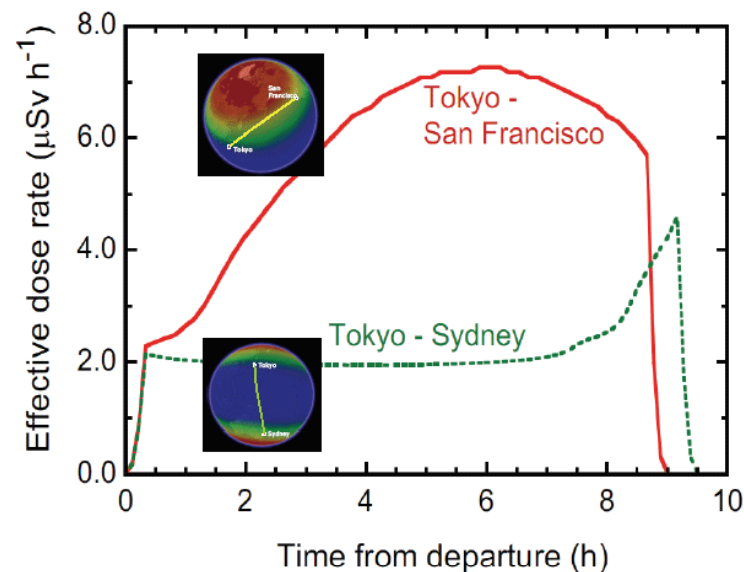
OMI Total Ozone (2011/03/25)



<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/20111003/20111003.html>

航空機乗務員は年間平均2mSv被ばく

- 民間の航空機が飛行する10～12kmの高さでは、平地に比べて**宇宙線の線量は百倍**近くになる。
- 日本の平野部で1日あたりに受ける平均的な宇宙線の線量は0.001mSv(1μSv)であるが、国内線の旅客機に乗ると1時間足らずの飛行で同程度の被ばくを受ける。
- 日本から欧米の都市へ**ジェット機で1往復すると、0.1mSv**ほどの被ばく線量になる。これは胸部X線撮影の約2回分に相当するアジアや豪州へのフライトでは、地磁気緯度が低く宇宙線をはじく力が強いいため、欧州便に比べて線量は顕著に低くなる。
- 0.1mSvといっても、私たちは普段の生活で年間2mSvほどの放射線を自然界から受けているので、航空機で遠くの国へ年に1回出かけてもこれが数%増える程度である。



計算にはJISCARD EXを使用、太陽活動極小期、巡航高度40,000ft、上昇・下降時間はそれぞれ20分と仮定

図3 成田ーサンフランシスコ便と成田ーシドニー便を飛行中の宇宙線線量率の推移

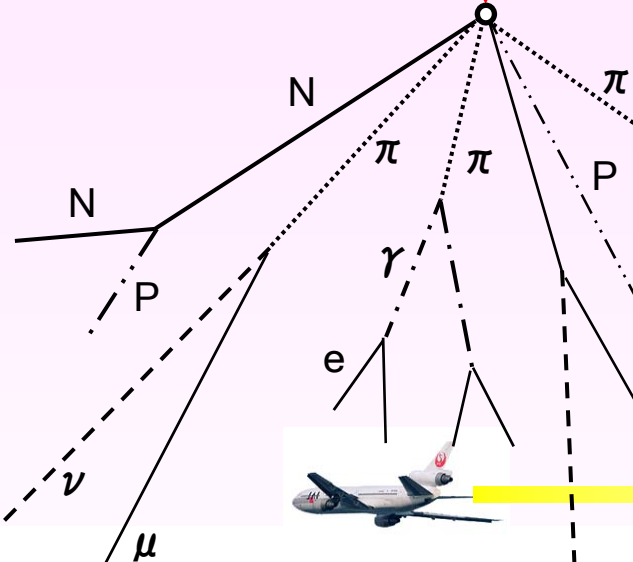
【資料提供】独立行政法人 放射線医学総合研究所、保田浩志氏

JISCARDやEXPACSでググって被ばく量を計算してみよう。

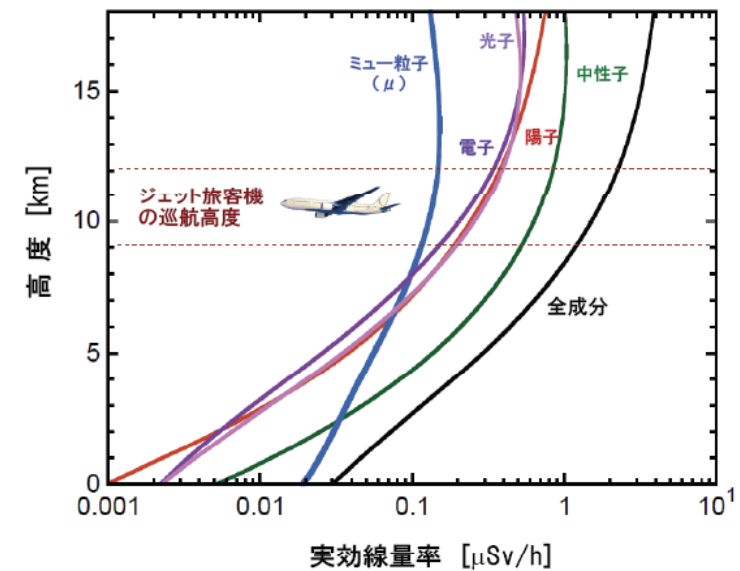
気圧は1/4倍なのに、被曝は100倍？

空気シャワーの発達する航空機高度では、被ばく量に寄与する中性子Nも多く、空気シャワーが十分に弱い地上では、電離損失の少ないミュオン μ ばかりになる、ということで100倍程度の違いになっている。

Energetic
proton



Radiation dose



計算にはPARMAコードを使用

図2 宇宙線の実効線量率の高度分布

[資料提供]独立行政法人 放射線医学総合研究所、保田浩志氏

Ground level enhancement

温暖化について

- 全球平均気温は、最近100年で約0.7度、上昇している。
 - 全球平均気温とは？
 - 温暖化の証拠は？
- 温暖化の原因は、CO₂濃度の増加だけではないが、CO₂は有力な原因。
 - エアロゾルや雲の効果がよくわからない。
 - 自然はコントロールできるのか？

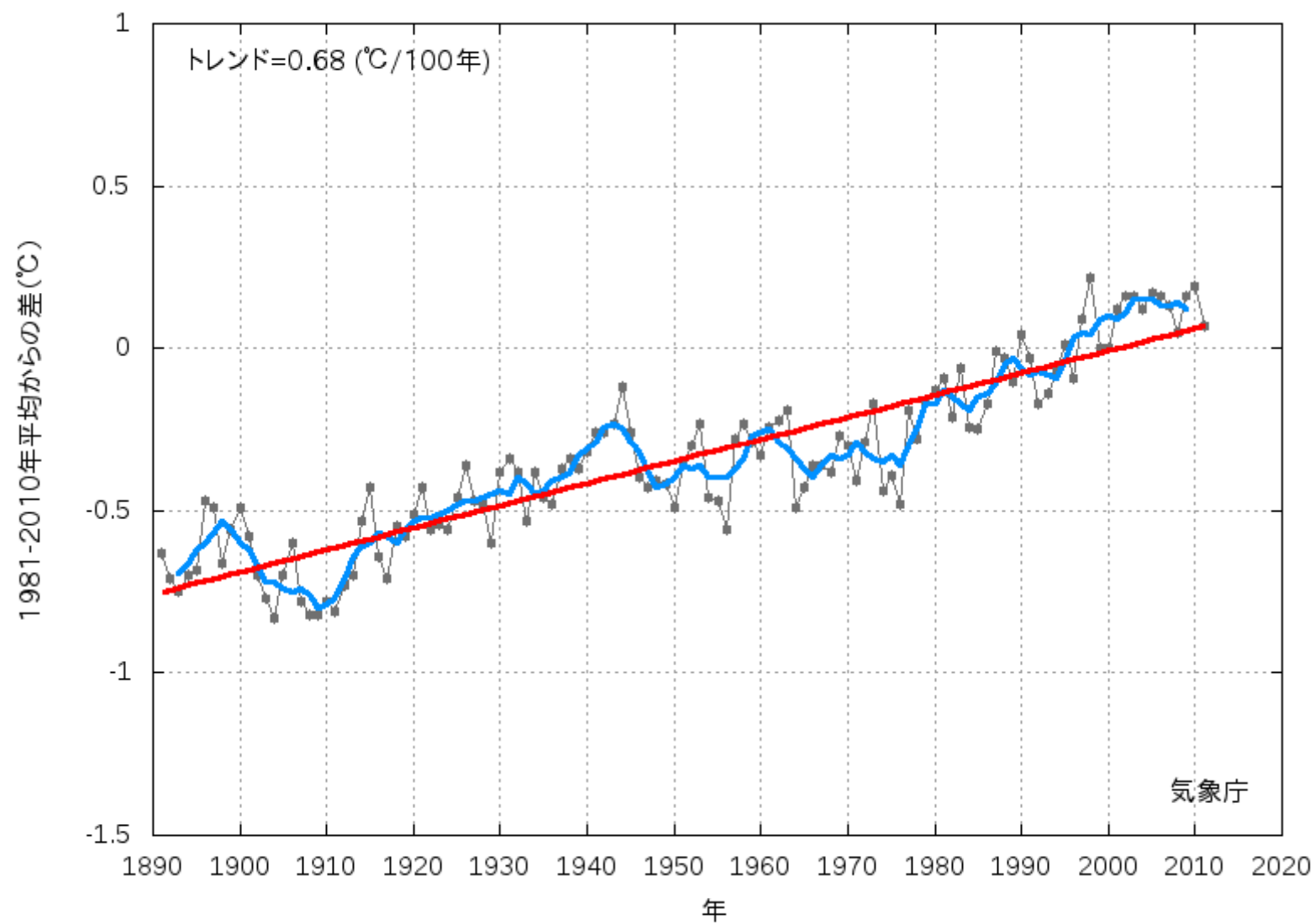
我々はどれくらい科学的な証拠を持っていると思う？

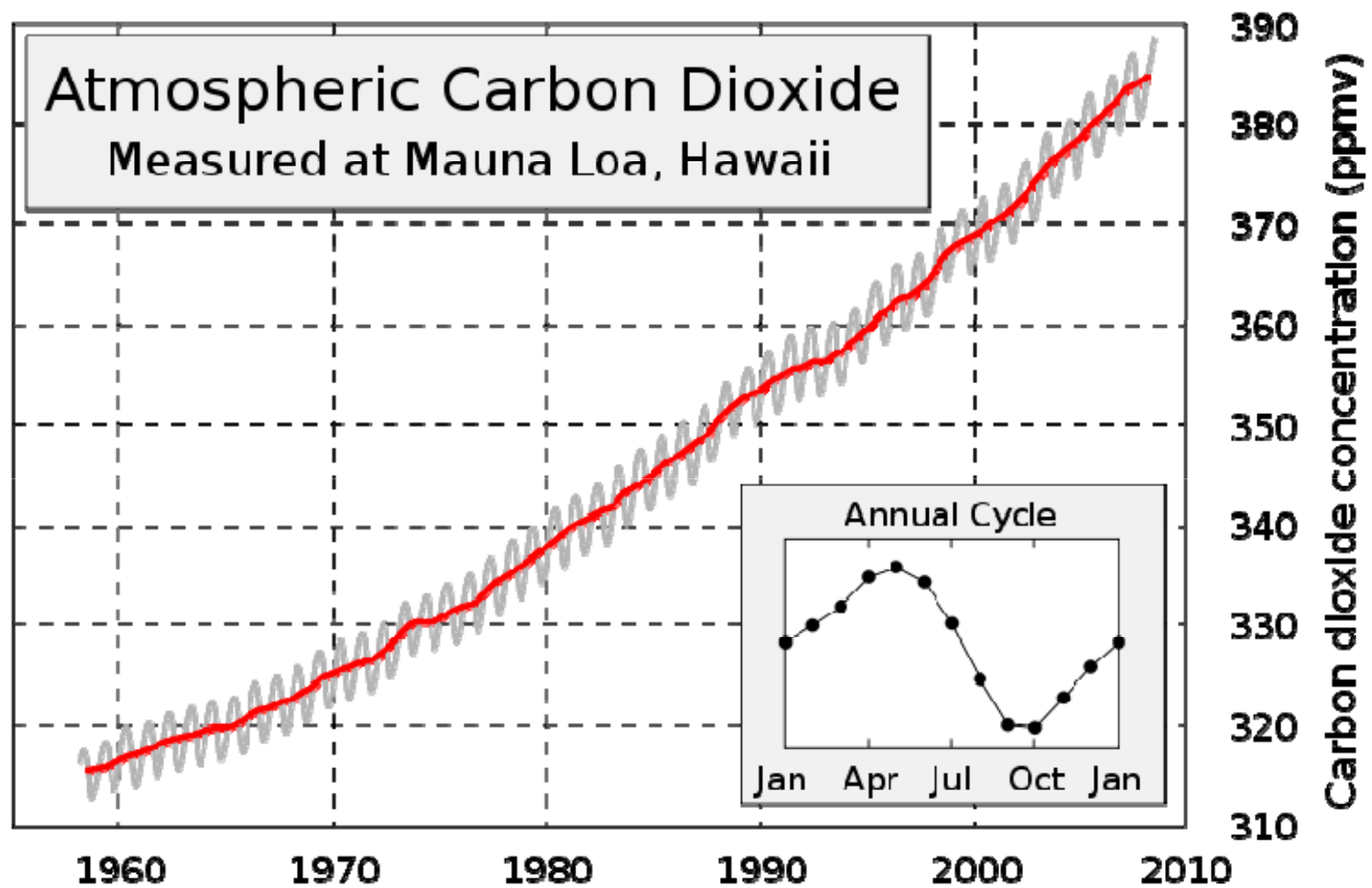
Is there Proof for Global Warming?

Positive proof of global warming.

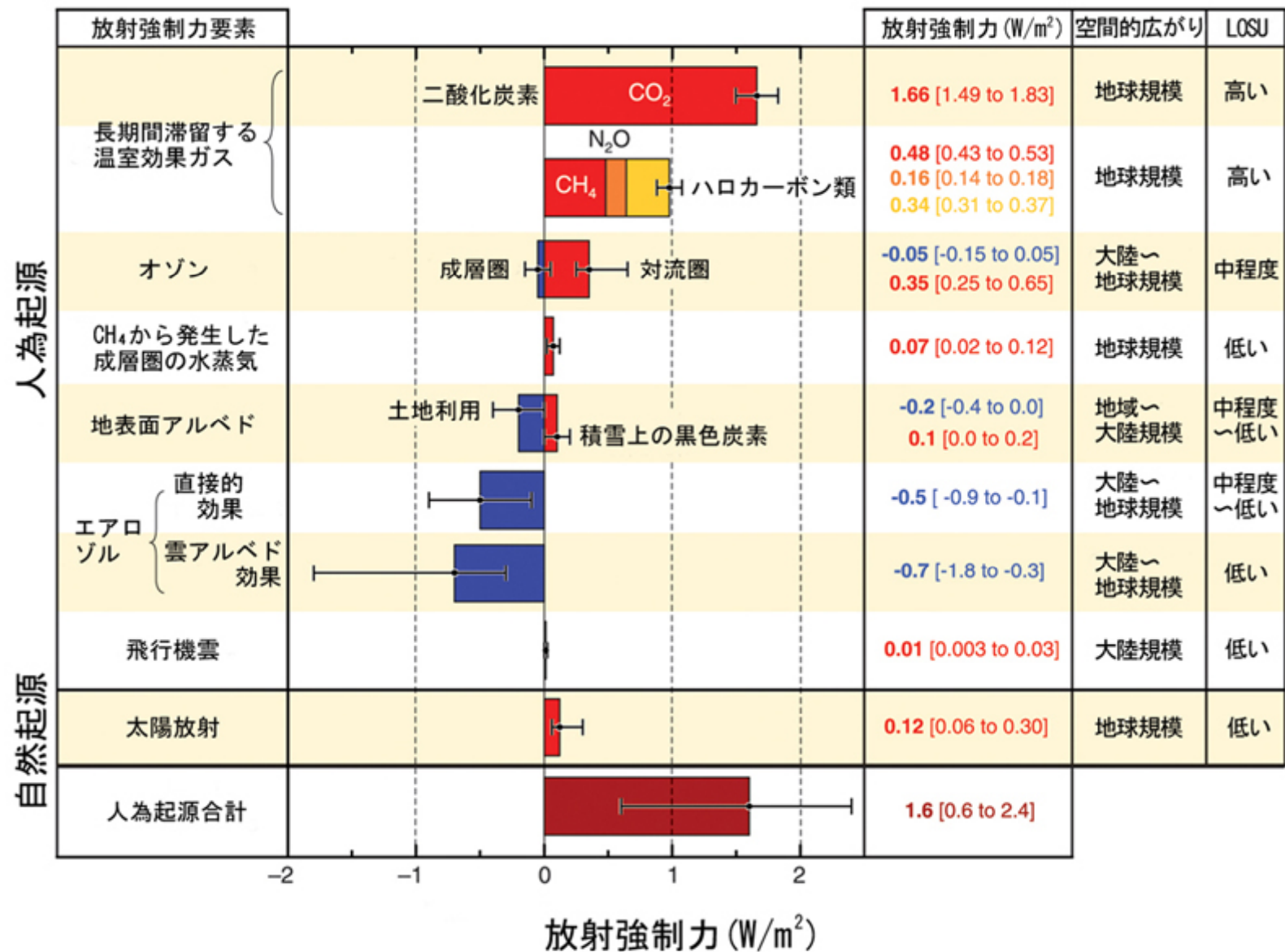


世界の年平均気温偏差





parts per million by volume



雲が下がっている。

L03701

DAVIES AND MOLLOY: MISR CLOUD HEIGHTS

L03701

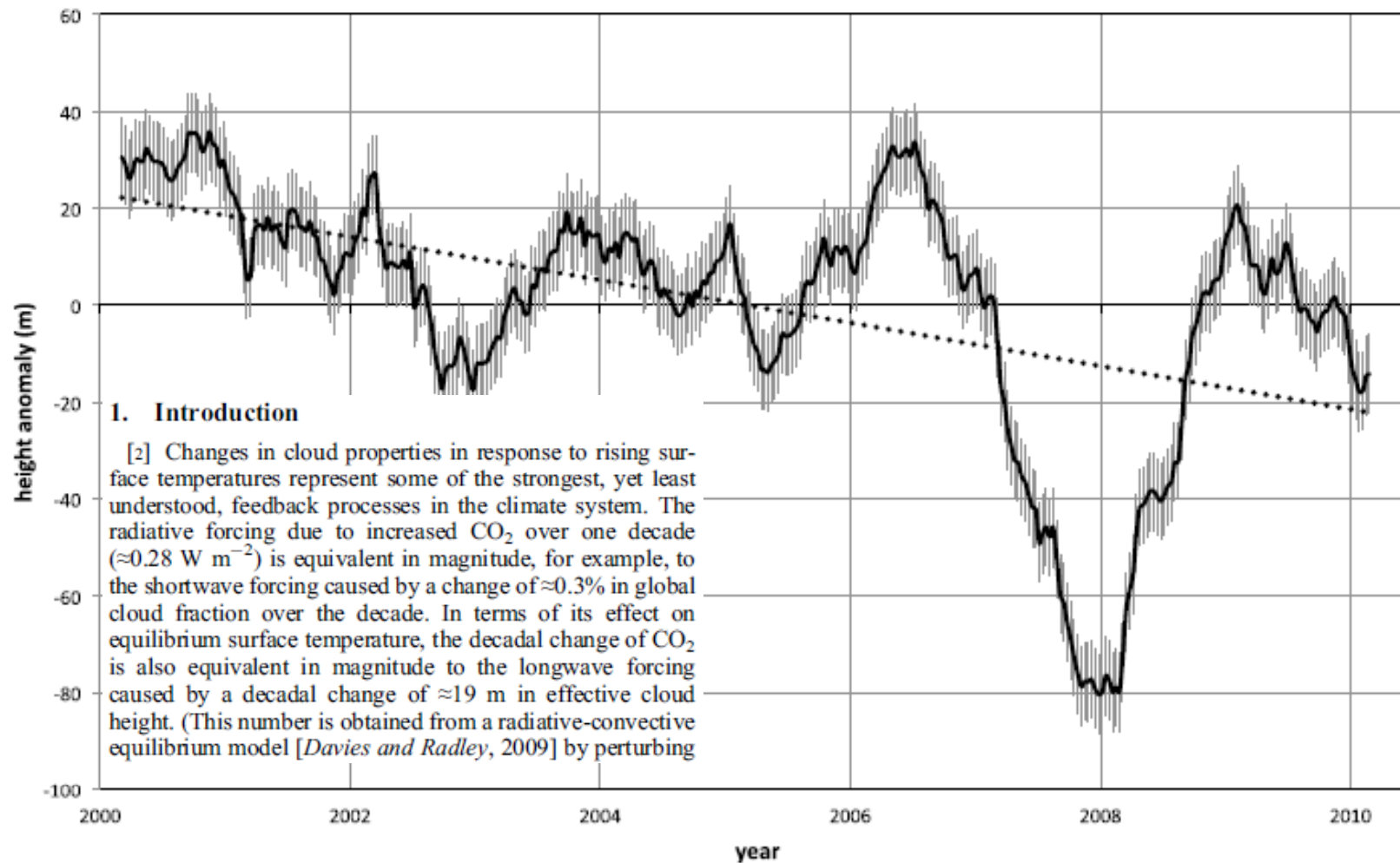


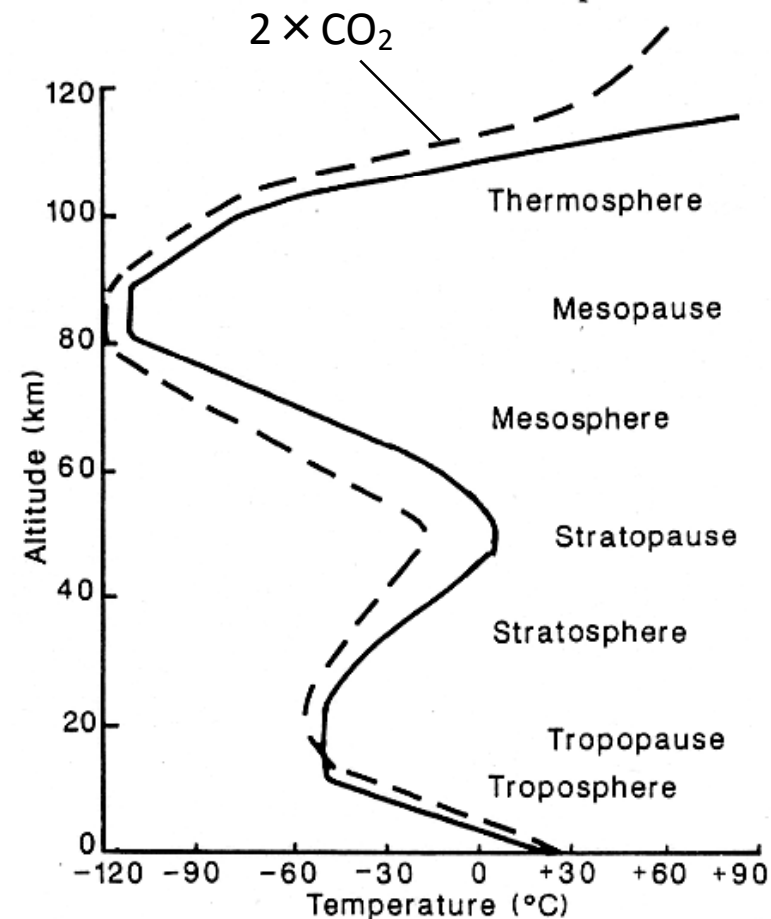
Figure 1. Deseasonalized anomalies of global effective cloud-top height from the 10-year mean. Solid line: 12-month running mean of 10-day anomalies. Dotted line: linear regression. Gray error bars indicate the sampling error ($\pm 8 \text{ m}$) in the annual average.

2009年7月14日パリの夜光雲(夜光雲が見られるようになったのは産業革命以降)



CO₂が増えて中層大気が寒冷化

- CO₂が赤外放射「冷却」
 - 夜光雲が増える？
- 2009年に熱圏温度が40度下がった
 - これはCO₂冷却ではない。
 - 太陽活動(紫外線強度)が極端に低かったため、熱源がなくなったことで熱圏温度が観測史上最高レベルに下がり、スケールハイトが小さくなったために熱圏密度も応じて下がった。
 - Solomon et al. 2010 GRL
 - Emmert et al. 2010 GRL



Cierone (1990) Roble&Dickinson(1989)

まとめ

- 気圧のバランス

- 空気 10^5 Pa
 - 成層圏 10^2 Pa
 - オーロラ 10^{-4} Pa
 - 実験室の真空 10^{-6} Pa
 - 静止軌道の磁気圧 10^{-8} Pa
 - 地球での太陽風 10^{-9} Pa
 - 星間風 10^{-13} Pa
- } 高さとともに指数関数的に薄まる「大気」
- } バランスするところで「磁気圏」
- } バランスするところで「太陽圏」

第2回アンケート

- 資料は私のウェブサイトで公開しています。
 - <http://sites.google.com/site/ryuhokataoka/>
 - 片岡龍峰でググると見つかります。
- どんなレポートを書きたいですか？
 - いままで授業を聞いて、せっかくだからこの機に、自分なりにじっくり調べて報告してみたい、と思うことが皆さんそれぞれあるでしょう。取り組む前に少し教えてください。