

太陽観測衛星 SOLAR-C

常田佐久、SOLAR-C WG

ひのでの威力

- 高空間・時間分解能・高画質観測の威力
 - プロミネンスとアルベン波、遅い太陽風の源の同定、半暗部マイクロジェット、彩層ジェット、スピキュール
- (偏光)分光観測による定量的データの威力
 - 水平磁場、EIS乱流、浮上する磁束管、対流崩壊、7度の傾きを利用した極磁場の観測、黒点の諸現象

ひのでからSOLAR-Cへ

- 「ひので」衛星は、太陽物理学ひいては磁気流体の関連する天文学・地球物理学に画期的進展をもたらしつつある。
- 旧来のパラダイムが転換しつつある一方、より多くの新しい課題が提起されつつあり、2010年代半ばにSOLAR-C衛星を打ち上げる計画を進める。
- コンセプトの異なる2案の明確化、それにより太陽物理学の旧来の課題・ひのでの突きつける新しい課題にどうチャレンジするか？
- 国際的な衛星計画・地上大望遠鏡計画との関連やシナジー、理論・シミュレーションとの戦略的連携の重要性。

2案平行検討(2008年度中)

- A案:極域を含む太陽全面の観測
 - 黄道面(目標60度)を離れ太陽極域の太陽内部診断と太陽磁場の観測。**太陽全体をグローバルにとらえ**、太陽風、ダイナモ機構の解明を行う。
- B案:ひのでの切り開いた高分解能観測の追及
 - ひので望遠鏡の分光能力の大幅向上による**電磁流体素過程**の解明:その結果として、光球—彩層—コロナシステムと彩層コロナ加熱・ダイナモの理解。
- 2014年度〔2015年2月〕打上げを要求
- いずれもH-IIAによる打ち上げ。

A案:太陽極域の観測

- 太陽全域の観測を黄道面傾斜角60度、1AU距離から行う。
- 太陽極域の探査
 - 日震学の手法による、太陽極内部の音速・自転角速度・流れ場(子午面還流)・光球下磁力管の観測を行う。
 - 他衛星と共同で局所的日震学の手法による、対流層深部・Tachocline・放射層の探査を行う。
 - 磁場計測の手法による、太陽極域の磁場・速度場の観測を行う。
 - オプション観測装置(総放射計など)の検討は後回し
- 極域の黄道面から離れた位置からの極域観測は、これまで一度も実施されていない。

SOLAR-C B案への科学要求

- スペースからの偏光分光観測とそれのもたらす定量情報の圧倒的威力から、(偏光)分光観測を太陽大気全域に拡大する。
- 光球・彩層・コロナの顕著な動的現象(波・リコネクション・乱流・対流・不安定性)の素過程の観測。あらゆるMHD現象の観測
- コロナ磁場の直接観測と彩層磁場の観測による data-driven simulation
- これらによる、コロナ・彩層加熱・ダイナモ機構の理解。

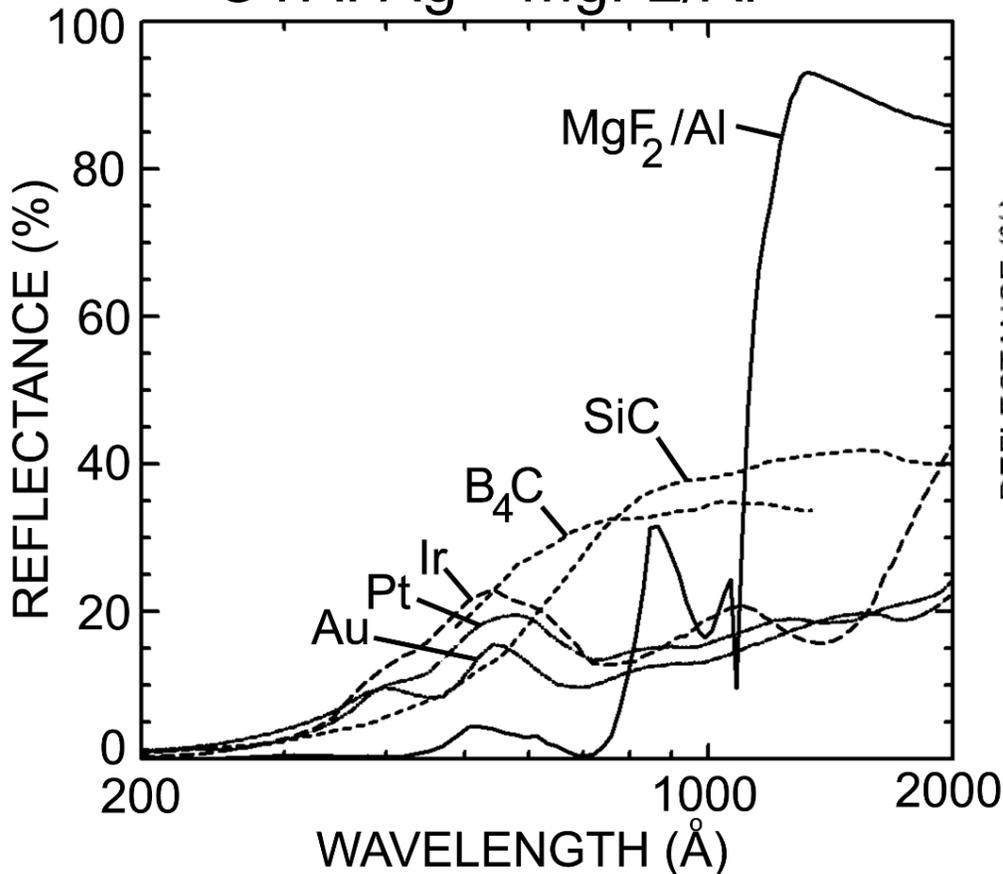
(B案) 科学要求の実現 方法・検討開発事項

撮像から(偏光)分光へ 可視光からUVへ

- 光球・彩層・遷移層・コロナの全域の観測
 - 可視光からUVへ進出
- (偏光)分光観測による動的現象の観測
 - 光球・彩層・遷移層・コロナの各層の診断のための高速分光器の搭載
 - スループットの増大
 - マルチオブジェクト化
- 彩層磁場・コロナ磁場の直接観測
 - ハンレ効果の適用検討
 - コロナ・プロミネンス磁場の直接観測
 - 光球・彩層の弱い水平磁場の観測

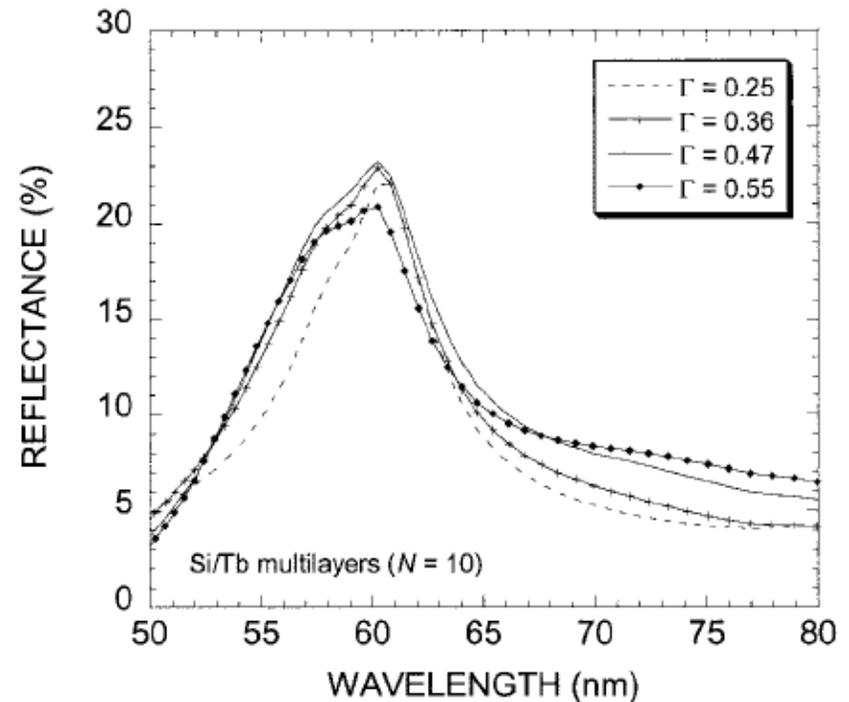
SOT/OTA coatingの変更で～
130nmまでのUV望遠鏡に

OTA: Ag → MgF₂/Al



長波長帯で多層膜が
利用可能に

Multi-layers for 650Å window

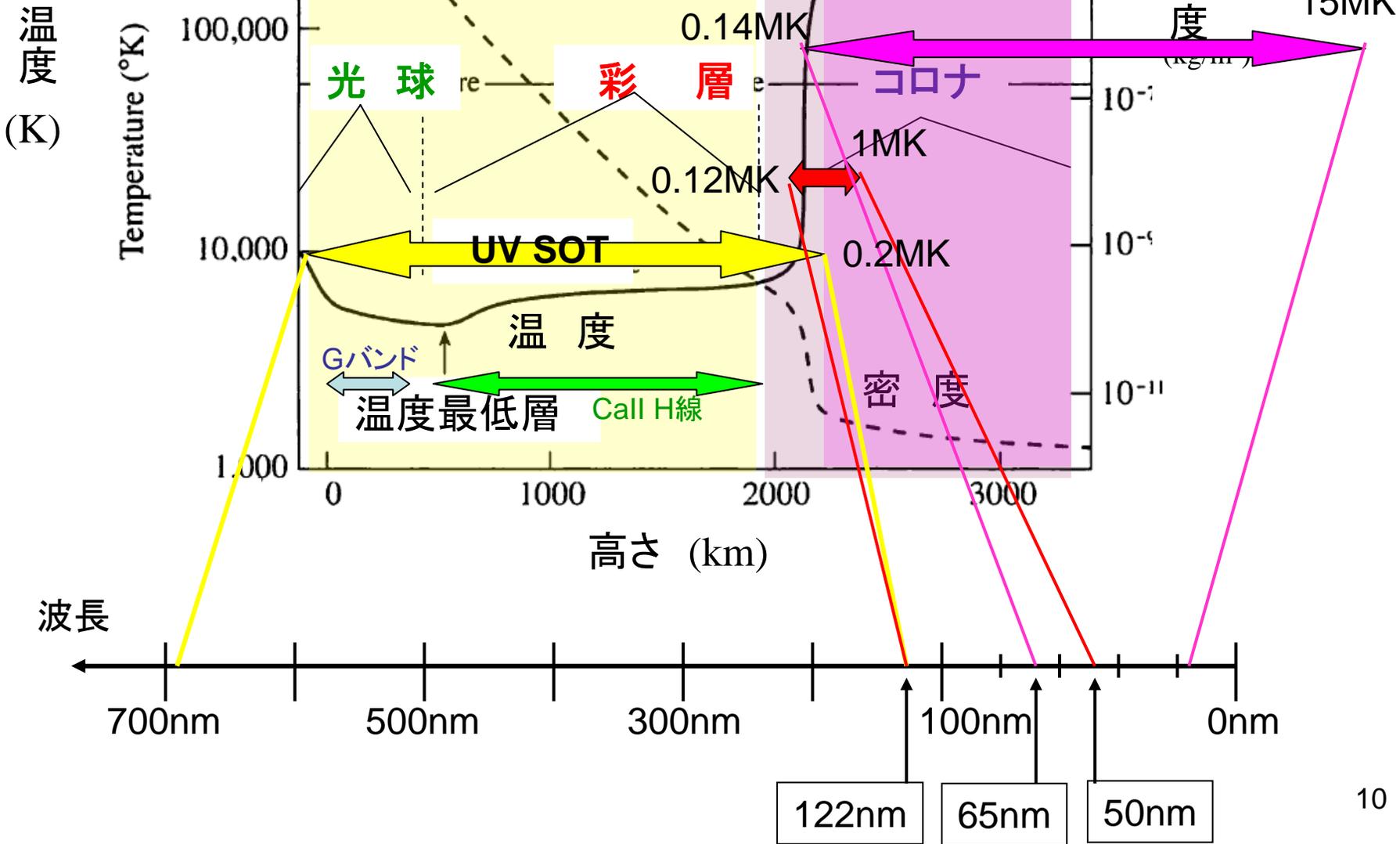


O V at 63.0nm $2.4 \times 10(5)$ K
Mg X at 61.0nm $1.1 \times 10(6)$ K₈

B案:ひのでの切り開いた高分解能観測の追及

- 搭載装置(案)
 - 可視光・UV望遠鏡(1220-8500 Å) > 50cm回折限界撮像・分光望遠鏡(<0.1-0.3秒角)
 - 極端紫外線望遠鏡・撮像・分光望遠鏡(EIS波長-65nm)
 - 超高空間分解能X線望遠鏡
 - (日振学観測装置)
- 他衛星と共同で局所的日震学の手法による、対流層深部・Tachocline・放射層の探査を行う。
- 軌道の検討
 - 太陽同期極軌道
 - 地球静止軌道
 - 黄道面離脱
 - A案の要素を持たせる

2望遠鏡で太陽大気を分光的にカバー(一例)



今後の方針

- 現時点でのA案・B案の比較より、それぞれの案の検討の深化とひので解析の進展を図る。
- XRTの成功に示されているように、どこにdiscovery space があるか？きめ細かい検討が必要。
- 分野外への説明や分野外からの支持は重要だが、これまでそうであったように、主体性を持ってミッションを提案していく。
- 今年秋にSOLAR-C definition 国際会議を開催。

バックアッpsライド

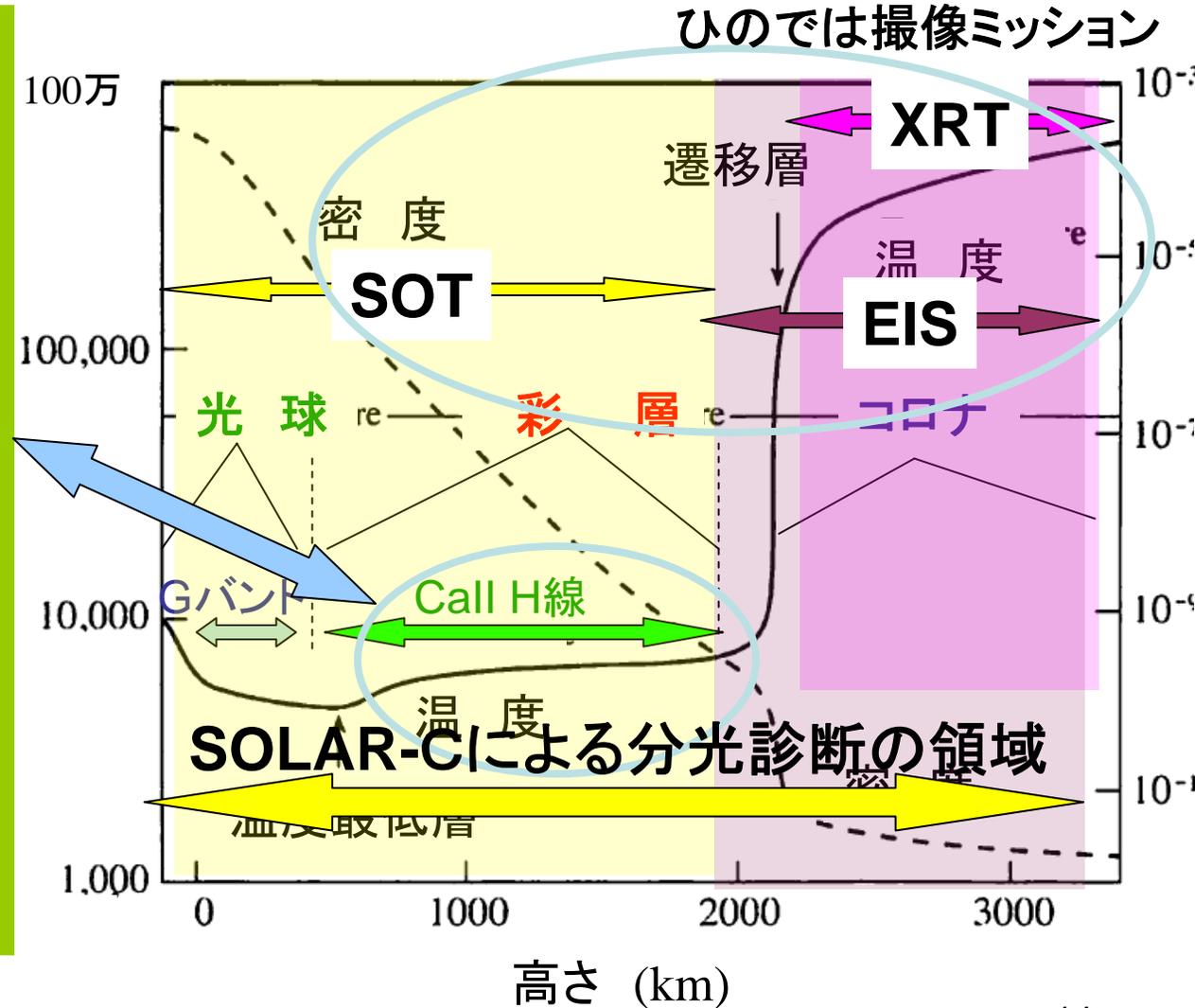
B案: SOLAR-Cによる太陽大気全域 の高分解能・分光診断

大注目領域: 彩層で
何が起きているの
か?

- ・コロナの10倍の加熱により維持されている

- ・「ひので」による多様な動的現象の発見

- ・コロナ加熱の理解には、コロナ光球のインターフェースである彩層・遷移層の理解が重要



「ひので」の見たつけた数々の現象

遅い太陽風

極のkG磁場

プロミネンス中の磁気流体波

超音速下降流

対流崩壊

ユビキタスな水平磁場

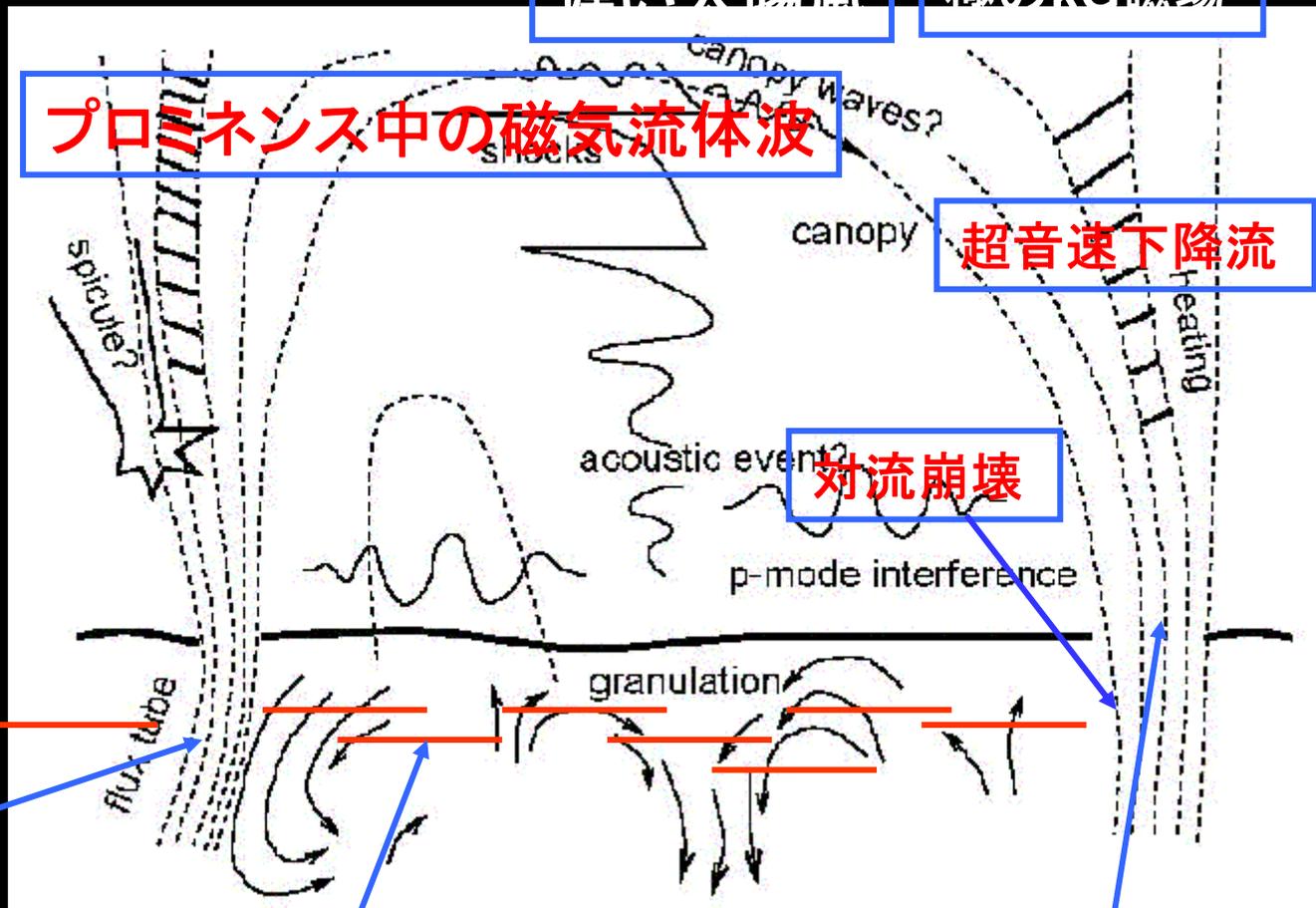
高温プラズマの乱流

彩層ジェット
彩層リコネクション

スピキュールの
アルベン波

半暗部
彩層ジェット

磁気揺動



2015年(CY)打上げの必須性

- A案の場合、極磁場の反転(太陽極大期前後)の観測のため、2018年には極に到達している必要がある。
- NASAのSDO衛星(太陽全面視野)との同時観測が必須
 - A案、B案とも太陽全面視野のSDOと相補的ミッション。
- ESA Solar Orbiter衛星との同時観測が必須
 - Aの場合、同時観測のためには、2015年打上げが必要。
 - 0.2AUの近距離でのその場観測、撮像観測
- ひのでの打ち上げが2006年であり、学問分野の継続的発展のためには、10年間隔でミッションが必要。
- NASA,ESAとも同時期に類似のミッションの計画がなく、長期的空白期間を作らない国際的要請。
 - B案の可視光UV高解像度望遠鏡は、日本以外では容易に実現できない。

科学要求の装置設計への反映

- 開発要素を最少にするため、OTAの口径・基本設計をできるだけ維持する。
- 従来のスリットスキャンでは要求の実現は不可能。
- これが「撮像から分光へ」のSOLAR-Cミッションステータメント実現の最大の問題の一つ。
- このため、マルチオブジェクトスペクトログラフ化を行う。
- 高速化のため、CCDでなくCMOSを使用する？

関連研究機関

- 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
 - 自然科学研究機構 国立天文台
 - 東京大学 大学院 理学系研究科
 - 京都大学 理学研究科
 - 名古屋大学 太陽地球環境研究所
 - 情報通信研究機構 電磁波計測研究センター
 - 海洋研究開発機構地球シミュレータセンター
- (順不同)

今後の予定

- 2008年5月末
 - 学術会議第2回学術会議シンポジウム
- 2008年夏～秋
 - SOLAR-C検討国際会議(対ESA)
- 2008年秋～冬
 - SOLAR-C検討国際会議(対NASA)
- 2008年度中
 - ミッション提案書にて1成案

ラインのセレクション (Doschekのインプット)

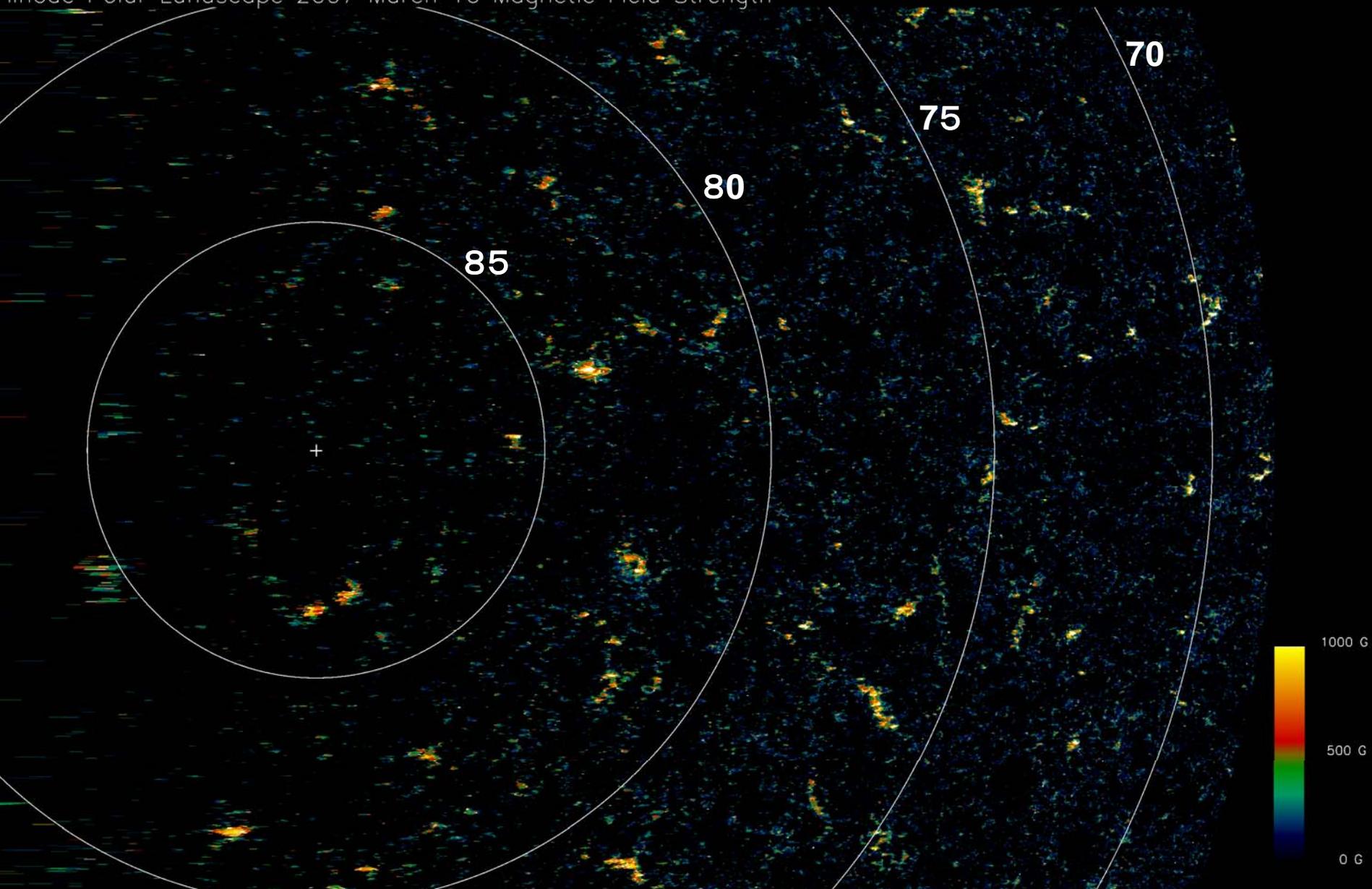
- OTA:1300 to 8300 Å, Al + MgF₂ (beyond 1300 Å SiC)
- good coverage of the chromosphere and lower transition region
 - Ly-alpha H I temperatures
 - Si II e.g., 1533 Å and C II 1334 Å at around 2×10^4 K in the chromosphere
 - O V (about 2.2×10^5 K) in the lower transition region.
 - C II -1334, 1335; C III – 1909; C IV – 1548, 1550; N III – 1750 multiplet; N IV – 1486; O III – 1666; O IV – 1401 multiplet; Al III – 1854; Si II – 1304, 1256, 1533, 1808; Si III – 1892; Si IV – 1393, 1402; S IV – 1406; flare line – Fe XXI 1354, forbidden lines of Si VIII – 1445; Fe X – 1463; Fe XI – 1467; Fe XII – 1349 plus others.
 - goes slightly lower to about 1200 Å
 - H I (1025, H series plus helium lines); Si III – 1206, 1294 multiplet; N V – 1238, 1242; O V – 1218; S II - 1253, 1259; S III – 1201
- On the disk, the practical temperature coverage does not extend beyond the lower transition region ($< 2 \times 10^5$ K for Al coatings).
- Coronal lines
 - A group of strong lines is found within the EIS wavebands.
 - SUMER observes Si XII and Mg X (SiC coatings).
 - The strong coronal lines fall mostly below the SUMER wavelength range.

ハンレ効果を用いた 光球・コロナ・プロミネンス磁場の観測

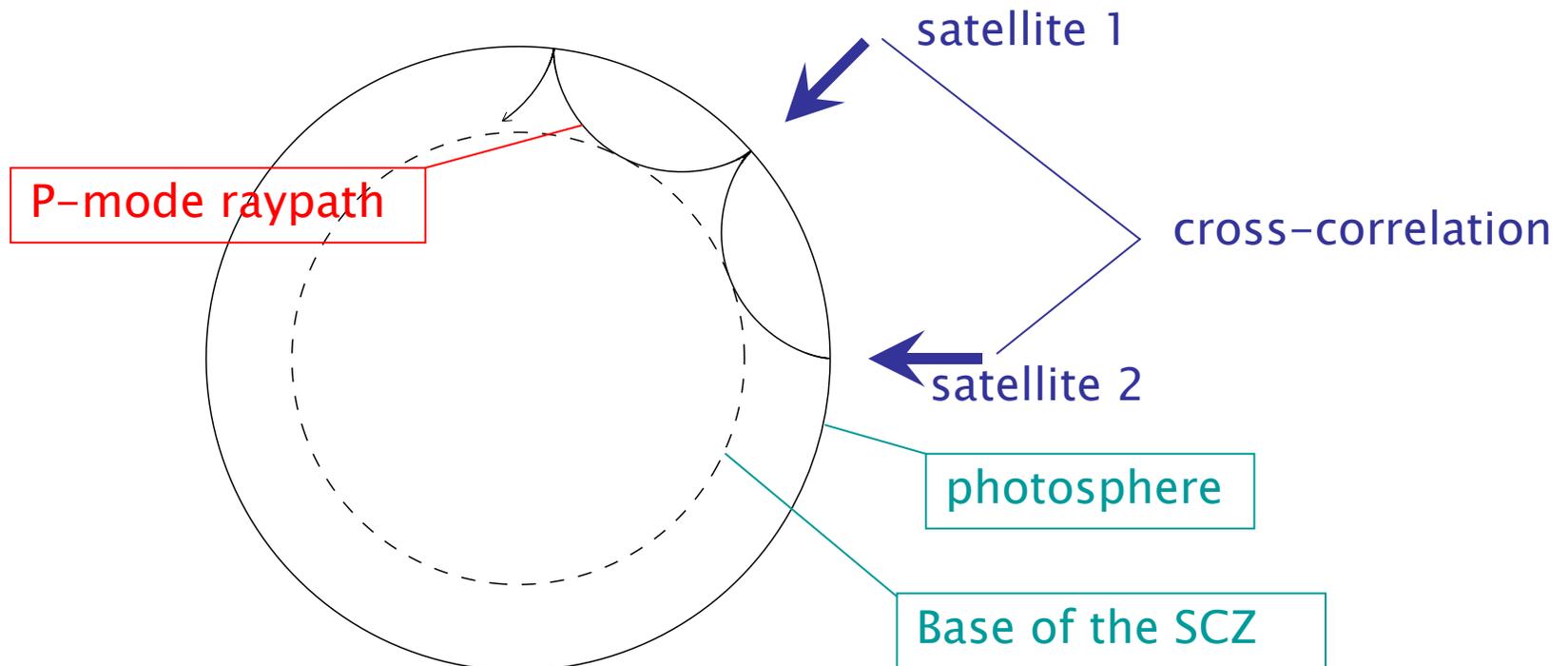
- 散乱による直線偏光の生成 (Hanle効果)
 - ミリガウスから数100Gまで感度
 - リムだけでなく太陽中心も (水平磁場)
 - Mixed polarity regionでも信号が消えない
 - ドップラ幅が広くても良い。
- 光球だけでなく、UV での観測により、彩層・コロナ・プロミネンス磁場の直接観測が可能になる？
 - Mg ii k-line at 2795 °A, Hydrogen Ly α line at 1216 °A

Polar landscape kG field

Hinode Polar Landscape 2007 March 16 Magnetic Field Strength

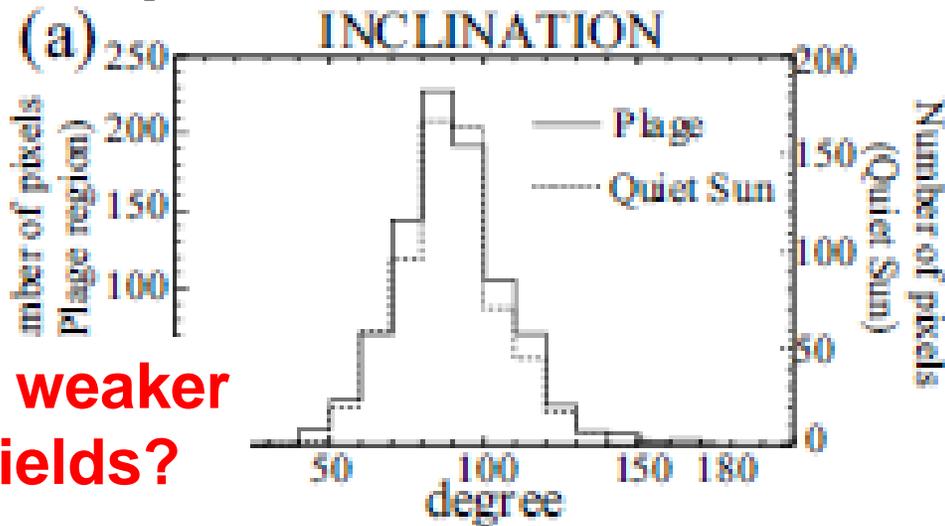


NASA・ESAと共同で今後さらなる可能性の追求： 2機の衛星による太陽深部探査 衛星1：SOLAR-C、衛星2：NASA衛星（地上観測）

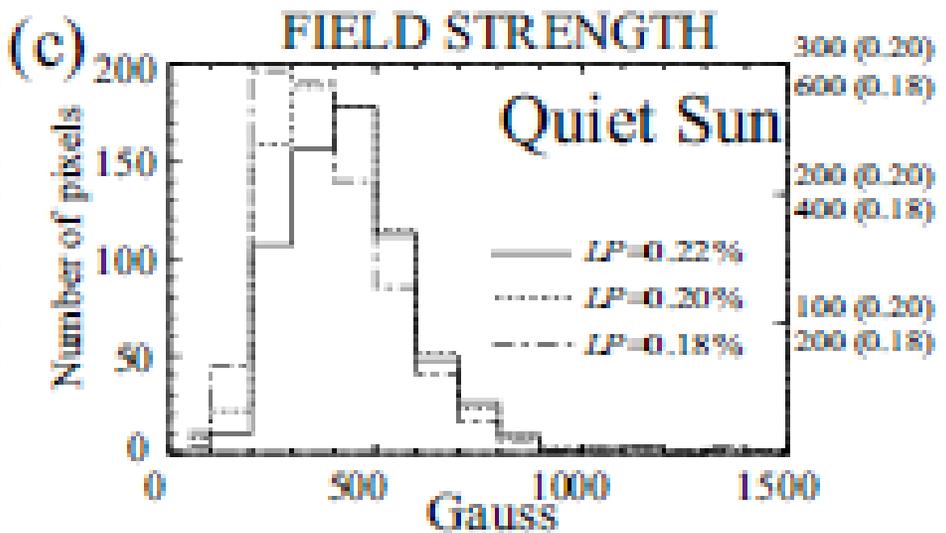
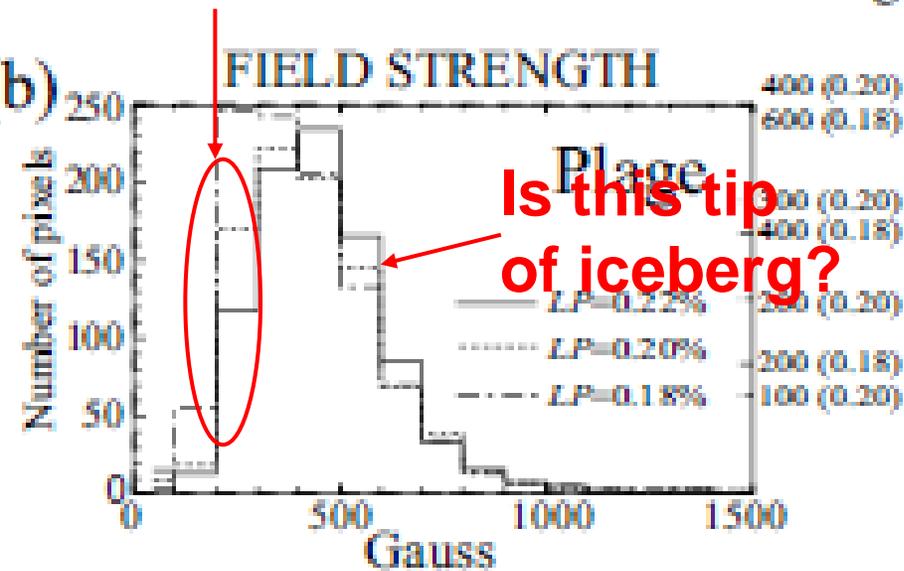


ただし、タコクラインの磁束管は10(5)Gあっても見えない可能性が高い。

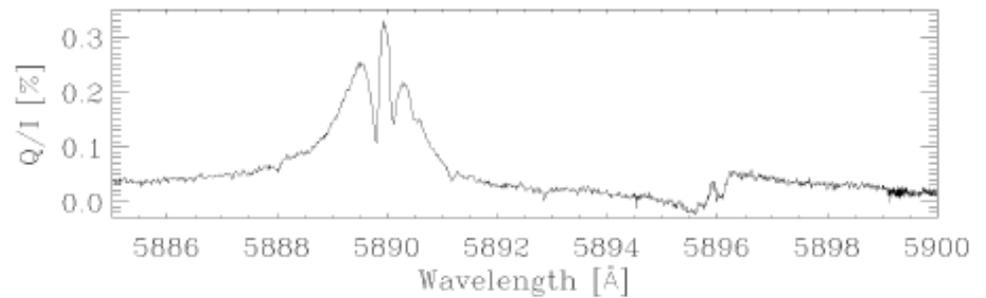
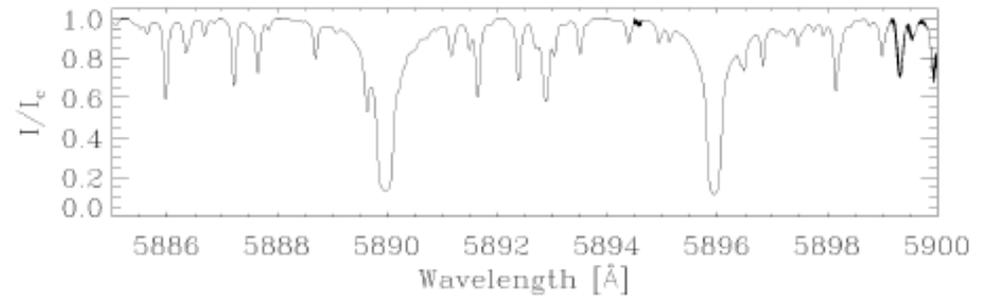
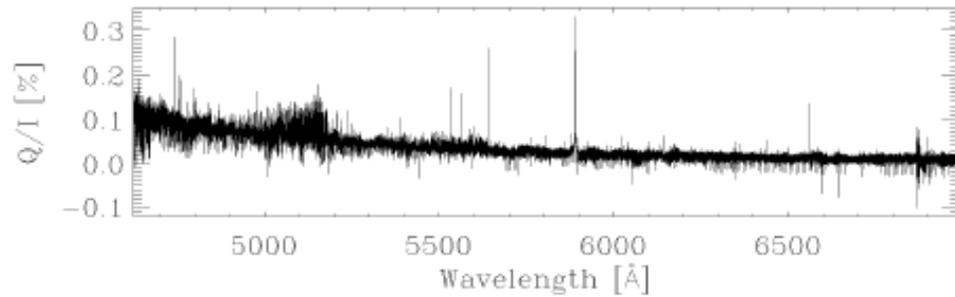
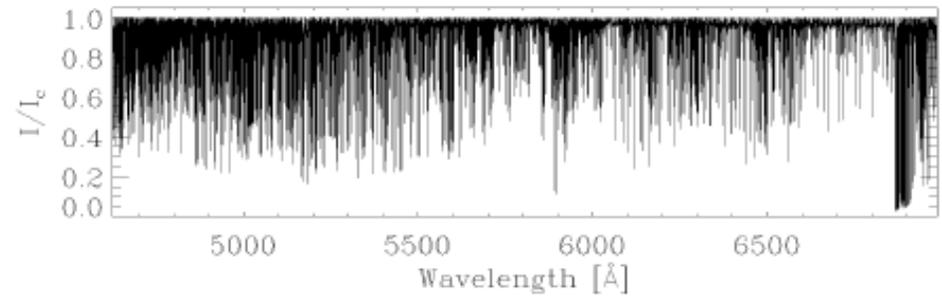
Open question: PDF of HTMF



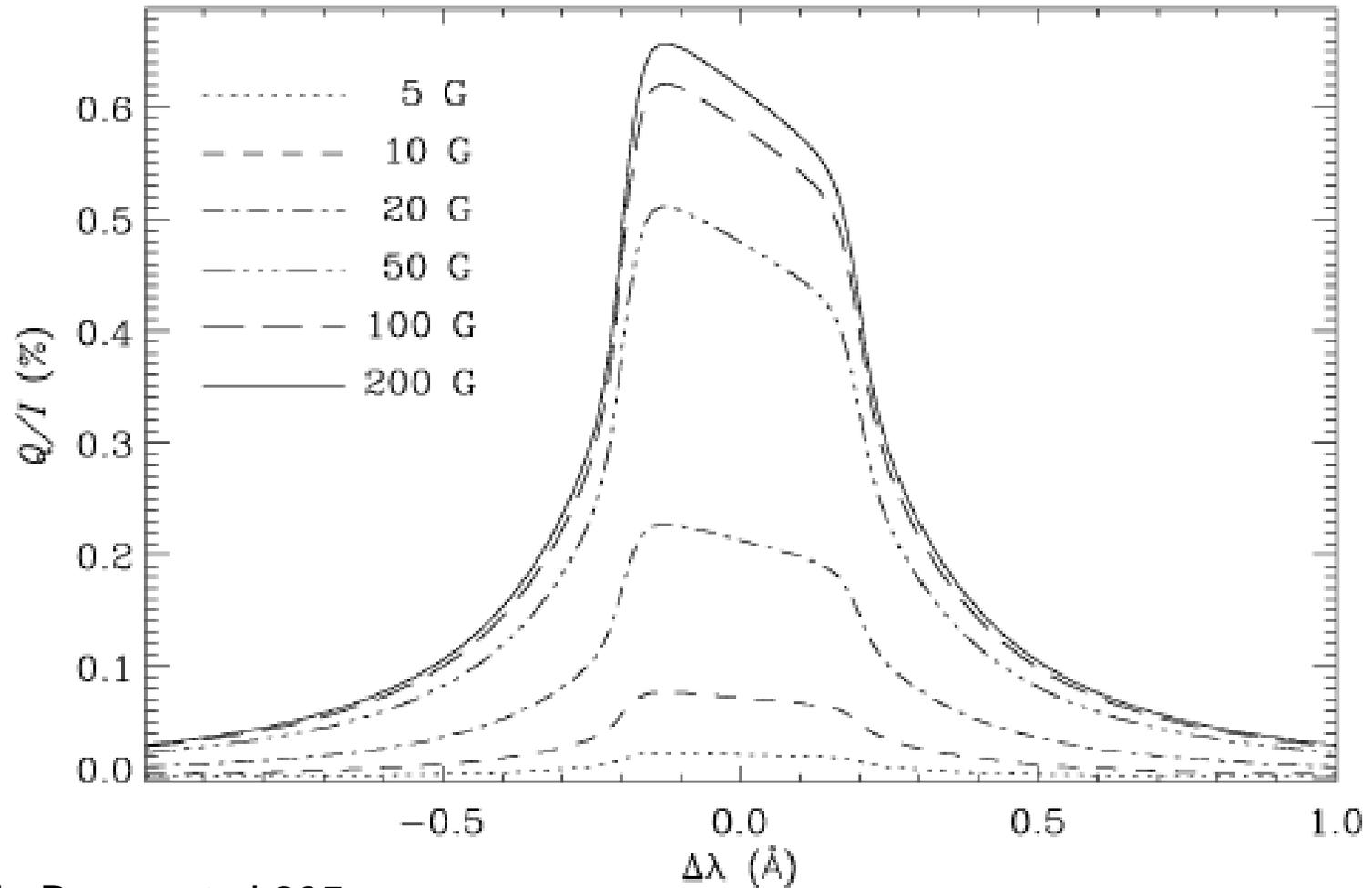
Do we have weaker
Horizontal fields?



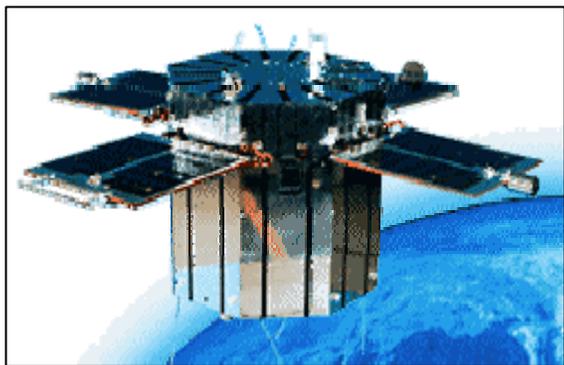
Second
Solar spectrum
(Observational)
(Stenflo & Keller 1996)



Lyman alpha Q/I due to Hanle effect (theoretical)

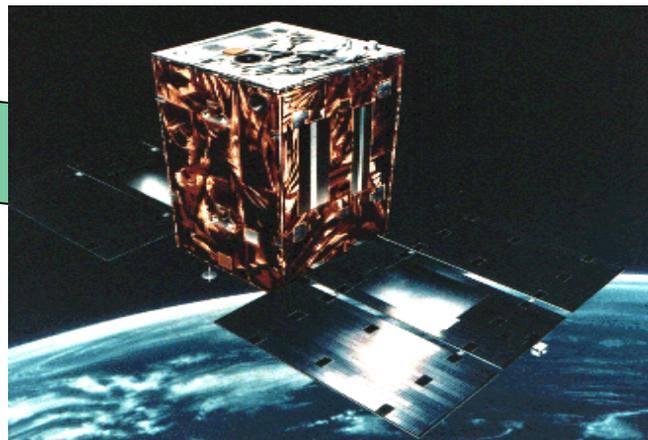


スペースからの太陽観測は日本が主導



ひのとり(1981-1982)

ようこう (1991- 2001)



ひので (2006-)



SOLAR-C
2010年代半ば