

Venus Climate Orbiter 搭載用紫外撮像カメラ

Ultra Violet Imager on Venus Climate Orbiter

○山田 学, 渡部 重十(北大・理), 岡野章一(東北大PPARC),
中村正人, 今村剛(JAXA/ISAS), 岩上直幹(東大理),
H. U. Keller, W. J. Markiewicz, D. Titov(Max Planck Institute for Aeronomy)

はじめに

宇宙科学研究所が計画しているVenus Climate Orbiter (VCO)は、異なる波長帯で連続的に金星全球の撮像を行う。各波長のデータを有機的に組み合わせることで昼夜の雲構造の相違、運動や3次元的な大気運動を捉えることが可能となる。

搭載機器の一つである紫外イメージャー(UVI)は、65~70km高度の下部成層圏に存在するSO₂/未同定物質の吸収による太陽散乱光から雲水平運動を捉える。これまでの観測と比較すると、2次元CCDを用いた短時間全球撮像で空間・時間分解能をあげる。UVI観測から上層雲の大規模構造からメソスケール構造の生成・消滅や、雲運動の追跡から風速を捉えることが期待される。本発表では UVI 開発の現状を報告する。

研究対象

雲・霞物理

- ・ ラージスケール(10³~10⁵km)・
- ・ メソスケール(1~10³km)構造
- ・ 低層中層大気間の相互作用

大気力学

- ・ スーパーローテーション
- ・ ラージスケール・メソスケール風分布
- ・ 惑星波動・重力波

未同定紫外線吸収物質分布

SO₂とH₂SO₄の光化学過程

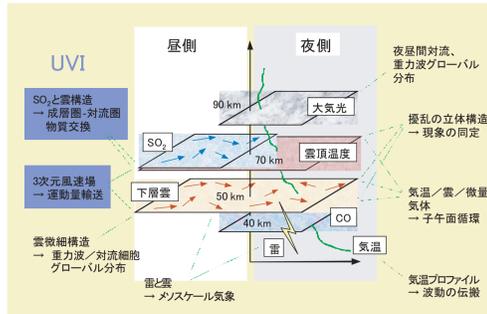


Fig.1.1: VCOにおける金星気象の立体的観測の概念図。UVIが関係する箇所を色を変えて示す(金星探査計画提案書,1.3-8図に加筆)。F

特徴

過去の衛星観測の知識を生かし、サイエンス目的を達成するために効率的な観測ができるよう最適化。2次元撮像素子により短い露光時間で全球データを得る

| 特徴 | 理由 |
|---------------|--------------|
| 高空間/時間分解能 | メソスケール構造を捉える |
| 2~4時間をペアとする観測 | 風分布を導く |
| 長期間の観測 | 子午面循環の評価 |

衛星名・ Pioneer Venus
観測機・ 撮像管による
撮像方法・ Spin-scan mapping
撮像時間・ 3.5 hour
撮像間隔・ ~500km, ~30km
空間分解能・ 300~390nm
S/N・ ~100
※唯一の風速長期観測

衛星名・ Galileo
観測機・ Solid-State Imaging
撮像方法・ 2次元CCD
撮像時間・ 25 msec
撮像間隔・ 1024x1024 12bit
撮像時間・ 1秒程度
撮像間隔・ 2~4時間
空間分解能・ 10km(φ3.7Rv)
観測波長・ 280nm, 365nm(半値全幅30nm)
S/N・ 100(目標値)

衛星名・ Venus Climate Orbiter
観測機・ Ultra Violet Imager
撮像方法・ 2次元CCD
撮像時間・ 1024x1024 12bit
撮像時間・ 1秒程度
撮像間隔・ 2~4時間
空間分解能・ 10km(φ3.7Rv)
観測波長・ 280nm, 365nm(半値全幅30nm)
S/N・ 100(目標値)

UVI性能諸元

| 観測方法 | 屋間 | 雲頂による太陽散乱光観測 |
|--------------|------------------------|---|
| センサ形式 | 反射屈折光学系を用いた撮像カメラ | |
| 観測波長域 | 280nm, 365nm | |
| 波長分解能 | 30nm | |
| FOV | 12° | |
| 角度分解能 | 0.015° (13Rvから地表空間分解能) | |
| S/N比 | 100(目標) | |
| センサ制御温度 | 23±3°C | |
| 光学系 | 合成F値 | 16 |
| | 合成焦点距離 | 63.3 mm |
| | 開口径 | 有効径 3.96mm |
| | MTF | 視野中心:0.82 視野端: 0.80 |
| | スポット径 | 視野中心1μm 視野端:1μm |
| | ミラー材料 | Zero-dur (基板)+Al+MgF ₂ (コート) |
| 検出器 | 型 | Si-CCD(素子数:1024x1024, ビット) |
| | 検出器冷却 | なし |
| | 検出器制御温度 | 0°C |
| | 積分時間 | 1sec |
| | 量子化ビット数 | 12bit |
| フィルタ | フィルタホイール | 位置: レンズ開口前 |
| | 中心波長 | 280nm 及び 365nm |
| | 波長幅 | 30nm |
| シャッター | メカニカルシャッター (T, B, D) | |
| フード | 型 | シングルコーン |
| | 寸法 | T.B.D |
| | フード制御温度 | 制御しない |
| 消費電力 | Measure | 9.4W |
| | Stand-by | 4.4W |
| AD変換時のデータレート | | T.B.D |

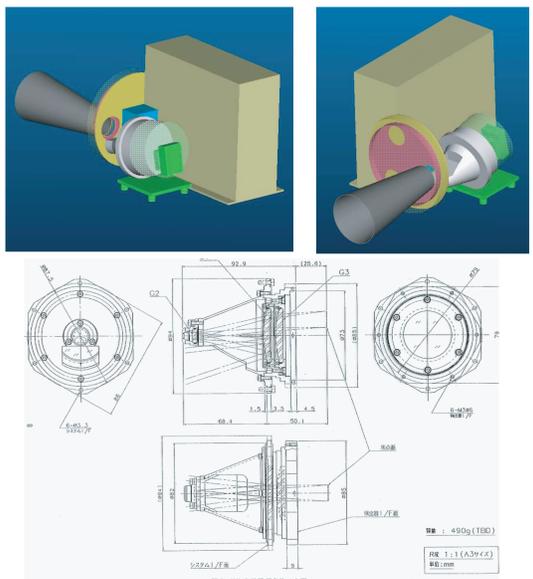


Fig.3.1: 上図) UVI 3DCG予想図。下図) UVI光学系展開図。

| コンポーネント | モジュール | エレメント | 質量(kg) | 電力(W) | エレメント(kg) |
|---------|-------|-------|--------|-------|-----------|
| UVI-S | フード | フード | 1.71 | 0.09 | 0.09 |
| | | センサ本体 | | 0.16 | 0.10 |
| | | フィルタ | | 0.10 | 0.10 |
| | | 駆動機構 | | 0.02 | 0.02 |
| | | その他 | | 0.24 | 0.24 |
| UVI-AE | フード | フード | 1.50 | 0.33 | 0.33 |
| | | その他 | | 0.05 | 0.05 |
| 合計 | | | 3.21 | | 0.71 |

UVI重量内訳

| コンポーネント | モジュール | エレメント | 質量(kg) | 電力(W) | エレメント(kg) |
|---------|-------|----------|--------|-------|-----------|
| UVI | センサ本体 | 検出器 | 3.0 | 3.00 | 1.10 |
| | | フィルタホイール | 3.0 | 1.1 | 1.1 |
| | | 駆動機構 | 2.0 | 6.4 | 1.0 |
| | | その他 | 1.5 | 0.8 | 0.8 |
| | | 電源基板 | 2.9 | 1.5 | 1.5 |
| 合計 | | | 9.37 | | 4.35 |

UVI電力消費内訳

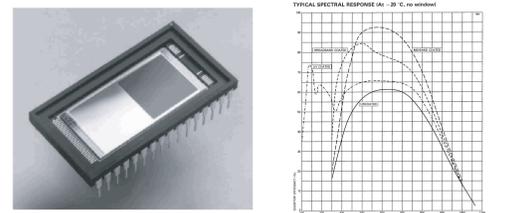


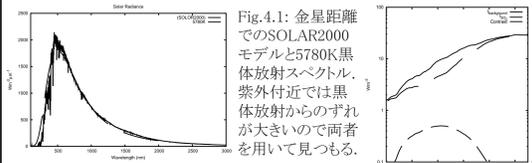
Fig.3.2: E2V社CCD47-20NIMO

Fig.3.3: CCD47-20量子効率

観測波長

雲による太陽紫外線の散乱を捕らえ、雲頂付近の未同定紫外線吸収物質の分布を観測
PVOと同じ中心波長 365 nmとする(観測の観点)。

雲による太陽紫外線の散乱を捕らえ、雲頂付近のSO₂の分布を観測
SO₂の吸収特性を考慮し有利な波長を選択
コントラスト最大は吸収帯ピークより低波長側、中心波長 380 nmとする(Fig.4.2)



コントラスト最大中心波長の見積り

SO₂による太陽放射吸収が作り出すコントラストを以下の式で評価

$$Contrast \propto 1 - \frac{I_{SO_2}}{I_0} \sim 1 - \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_0(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_0(\lambda) d\lambda}$$

$I_0(\lambda)$: 太陽放射密度, $\tau(\lambda)$: SO₂の光学的厚さ, λ : 観測波長

分母は太陽直達光全てが理想的に散乱, 吸収された場合の放射。分子はSO₂が吸収した結果の放射を見積もる値。計算には以下の値を用いた。

- ・ 太陽放射密度: SOLAR2000モデルおよび5780K黒体放射スペクトル(Fig.4.1)。
- ・ SO₂吸収断面積: Vandaele et al.(1994)の実験データ(Fig.4.3)。
- ・ $\tau = \sigma \cdot n \cdot l$: σ がオーダー1程度になるものとして, n, l の値を適当に与える。
- ・ λ : CCD感度特性とフィルタ透過特性の積をなすパラメータとして値を与える。

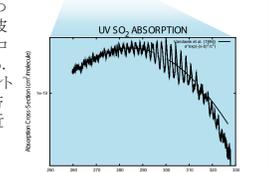
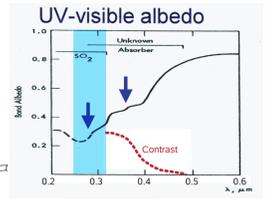


Fig.4.3: 上図) 過去の観測から推定される200~600nmでの金星アルベドと、近紫外域での吸収模様のコントラスト(Moroz et al.,1985)。下図) 300nm付近のSO₂の吸収断面積(Vandaele et al., 1994)。コントラスト最大中心波長を見積もる際に使用した。

放射線対策

CCDは撮像管やダイオードと比較して、低ノイズ、低電力、高感度、低コストと多くのメリットがある。しかし、宇宙環境化の利用においては放射線の影響を受けやすいという弱点を克服しなくてはならない。

ミッション間(3-4年)の動作は可能か?

ワーストケース吸収線量ターゲット: 30~50Krad.
対ガンマ線: 10Kradを超える特性変化(E2V社情報)。
対プロトン: 10Kradで画素の半分にダメージ
・ (放医研での100MeVプロトン照射実験結果 Fig.5.1, Fig.5.2より)
→ダークイメージによる補正をすることで撮像可能

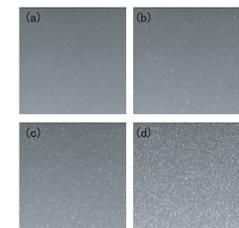


Fig.5.1: 100MeV proton照射によってCCDに生じる白傷の様子。各照射量でのダークイメージの一部(50x50pixel)。推定吸収線量はそれぞれ、(a): 12.8, (b): 72.8, (c): 322.8, (d): 2332.8 rad

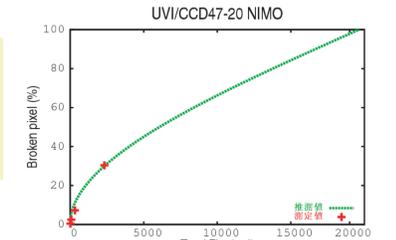


Fig.5.2: 吸収線量と白傷の割合。推定値は、確率計算による予想曲線をフィッティングしたもの。10Krad程度で全体の半分の画素がダメージを受けることが予想される。

必要とされる防護は?

- ・ CCDの構造からダメージ最大となるのは数MeVのプロトン(Fig.5.3)。
- ・ このエネルギー以下は遮蔽すべき。
- ・ 静電時の太陽プロトンフラックスはGeV付近に極値を持つ(Fig.5.4)
- ・ 防護の結果、極値付近が数MeV程度に付近になると不利
- ・ 遮蔽物質の特性(Dale et al., 1993)
- ・ Al: 単位質量あたりの遮蔽効果大,
- ・ Ta: 単位厚みあたりの遮蔽効果大

Al 10mm相当厚程度が理想。重量的制限も考慮すると、最低 Al 3mm 相当厚の遮蔽が必要(Fig.5.5)。

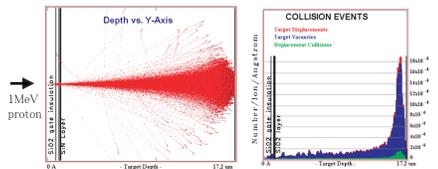


Fig.5.3: TRIMによるモンテカルロシミュレーション結果。CCD47-20を6層の物質で構成されるターゲットとして計算。最大のダメージをあたえるプロトンエネルギーは1MeV程度である。左) 10000個の1MeVプロトンをCCD前面より垂直に照射した際の飛程, 右) CCDに引き起こされるダメージ

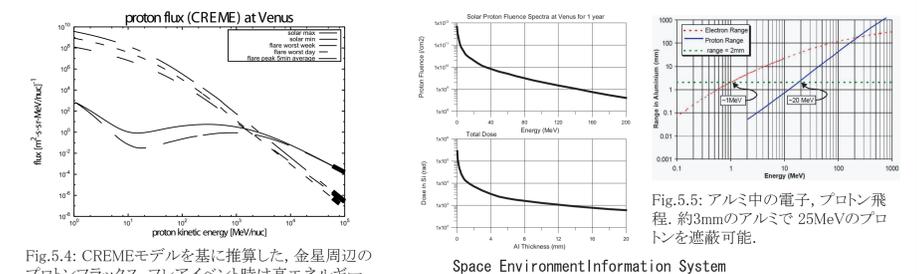


Fig.5.4: CREMEモデルを基に推算した、金星周辺のプロトンフラックス。フレアイベント時は高エネルギーになるにつれ単調減少、静電時はGeV付近に極値を持つ。

Space Environment Information System

今後の予定/課題

- 2005年4月より工学モデルの作成を開始予定。ドライバの開発が必要となる。
- 熱的に成立させるために放射線対策が必要となる可能性が高い。この場合放射線対策も含め重量が増加してしまうので何らかの工夫が必要。カメラの材質としてTi合金を予定しているが、代わりにアルミ・ベリリウム合金での作成を検討中。可能であれば、重量的に全体で1~2割減が可能である。
- 風分布の計算アルゴリズムの検討、プログラム作成。全自動化する場合、トラッキングする雲の選択方法が重要となる。

参考文献等

- 金星探査計画ワーキンググループ, 「金星探査計画提案書」, 2001.
- Limaye and Suomi, Cloud Motions on Venus: Global Structure and Organization, *J. Atmos. Sci.*, 38, 1220-1235, 1981.
- E2V Technologies, "High Performance NIMO CCD Backthinned CCD Sensor" Data Sheet, August 2003.
- Moroz et al., Solar and Thermal Radiation in the Venus Atmosphere, *Adv. Space Res.* Vol.5, No.11, pp.197-232, 1985.
- Vandaele et al., SO₂ Absorption Cross Section measurement in the UV using a Fourier Transform Spectrometer, *J. Geophys. Res.*, 99, 25599-25605 (1994).
- SOLAR2000 model, <http://spacewx.com/>.
- TRIM: The Transport of Ions in Matter, <http://www.srim.org/>.
- A. J. Tytka et al., CREME96: A Revision of the Cosmic Ray Effects on Micro-Electronics Code, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol 44, No. 6, 1997. (<https://creme96.nrl.navy.mil/>)
- SPENVIS: SPace ENVIRONMENT Information System <http://www.spennis.oma.be/spennis/>.