

ETS-VI/LCE を用いた波長 0.5 $\mu\text{m}$  帯の背景光の測定

Measurement of background radiation at 0.5 $\mu\text{m}$  wavelength  
from earth surface using ETS-VI/LCE

豊嶋 守生 深澤 孝之 豊田 雅宏 鹿谷 元一

高橋 鉄雄 荒木 賢一 有本 好徳

Morio TOYOSHIMA, Takayuki FUKAZAWA, Masahiro TOYODA,

Motokazu SHIKATANI, Tetsuo TAKAHASHI, Kenichi ARAKI

and Yoshinori ARIMOTO

郵政省 通信総合研究所

Communications Research Laboratory, MPT

## Abstract

The optical communication experiment in the Communications Research Laboratory (CRL) has been performed using the Engineering Test Satellite VI (ETS-VI) which was launched into a high elliptical orbit. The Laser Communication Equipment (LCE) can measure radiation from various backgrounds such as sea water, plowed fields, vegetation, and rocky terrains. The charge coupled device (CCD) sensor and the quadrant detector (QD) sensor of the LCE are used to obtain the spectral radiant emittance at 0.5 $\mu\text{m}$  wavelength from the earth surface. This paper shows the result of the experiment to measure the background radiation.

## 1. はじめに

技術試験衛星 VI 型(ETS-VI)は 1994 年 8 月に打ち上げられたが、現在 3 日回帰の楕円軌道を航行している。このため、この衛星に搭載されている光通信基礎実験装置(LCE)の視野方向は、地球の表面を移動するようになった。LCE は粗追尾センサに電荷結合デバイス(CCD)と精追尾センサに 4 分割光検出器(QD)を搭載しているので、これを利用して地球表面の背景光の測定を行った。

## 2. 背景光の影響

背景光の影響は、静止軌道衛星(GEO)－光通信地上局(GND)間の光リンクを構成する場合や、GEO－低軌道衛星(LEO)間の光伝送回線において重要な要素の一つである。背景光雑音となり得る地球表面の輝度は、陸、海、雲そして地球上の植生等により様々である。例えば太陽光が照射している場合、陸地などではある程度吸収されて輝度は低いが、雲等では拡散により高い輝度となる。通信リンクを確立する際、受信器に雲等が入る場合にはそれらの背景光が通信回線における雑音成分となり得る。そこで今回、ETS-VI の周回運動により LCE の視野方向が地球表面を移動することを利用して、地球上の様々な状態の背景光を測定した。

### 3. スペクトル放射発散度

#### 3-1. 太陽光によるスペクトル放射照度

地球自身を約 300K の黒体温度とすると波長 10 $\mu$ m 帯に放射のピークを持つ。しかし LCE の受光波長である 0.5 $\mu$ m 帯においては、太陽の散乱光によるものが主な地球表面での背景光雑音となる。発光源温度を T[K]とし、波長を  $\lambda[\mu\text{m}]$ とするとスペクトル放射発散度  $W(\lambda)$  (Spectral Radiant Emittance [W/cm $^2 \cdot \mu\text{m}$ ])は以下の式で与えられる。

①②

$$W(\lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]} \quad (1)$$

ここで、c は光速(2.998 $\times 10^8$ m/s)、h はプランク定数(6.626 $\times 10^{-34}$ J $\cdot$ s)、k はボルツマン定数(1.38 $\times 10^{-23}$ J/K)である。Fig.1 に、地球上大気圏外での太陽光のスペクトル放射照度(Spectral Irradiance [W/cm $^2 \cdot \mu\text{m}$ ])の特性と、式(1)の理論曲線を示す。この図より、太陽を T=5900K の黒体放射と考えることができ波長 0.5 $\mu\text{m}$  帯にピークを持つことが分かる。

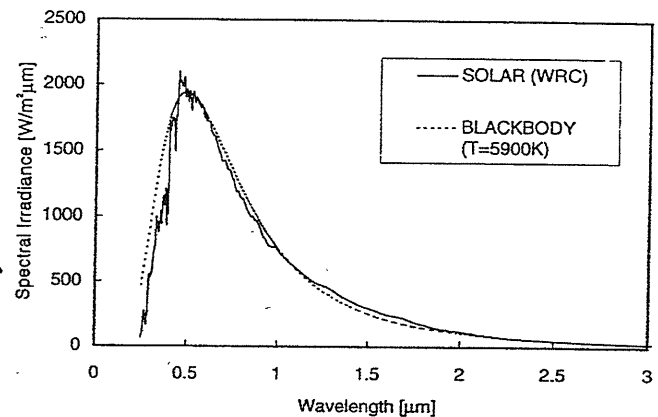


Fig.1 Spectral irradiance of sun and 5900K blackbody.

#### 3-2. 地球のスペクトル放射発散度

LCE センサでの受信電力を P [W]、受光面積を  $A_{rs}$  [cm $^2$ ]、受光バンドパスフィルタの半値全幅を  $\Delta\lambda$  [ $\mu\text{m}$ ]、LCE 光学損失(偏向依存性も含める)を  $\tau_r$ 、拡散面から天頂角  $\phi$  方向への LCE までの透過率を  $\tau_s(\phi)$ そして LCE の立体視野角を  $\Omega_s$  [str]とすると、地球表面からの放射照度は次式で与えられる。

$$W(\lambda) = \frac{\pi \cdot P}{A_{rs} \cdot \Delta\lambda \cdot \tau_r \cdot \tau_s(\phi) \cdot \Omega_s} \quad (2)$$

一方、太陽からの放射照度を  $H_s(\lambda)$ とすると、その時の地球表面への太陽光の入射角を  $\theta$ 、拡散面までの大気透過率を  $\tau_a(\theta)$ 、そして天頂角  $\phi$  方向への反射係数を  $R(\theta, \phi)$ とすると次式が成り立つ。

$$W(\lambda) = H_s(\lambda) \cdot R(\theta, \phi) \cdot \tau_a(\theta) \cdot \cos\theta \quad (3)$$

ところで地球表面の反射面を完全拡散面と仮定すると、反射係数は  $\theta$ 、 $\phi$  に依存せず、また仰角の変化に伴う透過率変化もほぼ一定と仮定して、反射係数と透過率を含めた実効反射係数  $R_e = R(\theta, \phi) \cdot \tau_a(\theta) \cdot \tau_s(\phi)$ は式(2)と式(3)より与えられる。

$$R_e = \frac{\pi \cdot P}{A_{rs} \cdot \Delta\lambda \cdot \tau_r \cdot \Omega_s \cdot H_s(\lambda) \cdot \cos\theta} \quad (4)$$

この式は完全拡散面である場合に適用できる。

#### 4. 背景光測定の実験結果

##### 4-1. ETS-VIの軌道とLCEの視線方向

背景光測定実験の内の一つは、1995年6月8日に午前9時から午後8時まで約11時間行われた。Fig.2の軌道はETS-VIの直下点軌道の軌跡と、LCEの望遠鏡視野の指向方向の軌跡で姿勢バイアス制御がある場合と、姿勢バイアス制御が無い場合を示している。バイアス制御は10時56分から14時24分まで自動バイアス制御が行われ、その後15時24分まで固定バイアスで運用されている。

##### 4-2. 背景光測定結果

Fig.3(a),(b)にLCEのCCDセンサとQDセンサによる地球表面のスペクトル放射発散度をそれぞれ示す。図中の測定データは、5分間の平均値とその期間の最大最小を測定時刻に対してプロットしてある。また地球表面は測定波長に比較して荒い面とみなすことができるので完全拡散面と仮定し、 $\tau_s(\phi)=1$ とした。Fig.3(a)と(b)のグラフを比較すると、受光レベルの時間変化が異なることが分かる。これはCCDは $\pm 0.229\text{deg}$ 、QDは $\pm 0.023\text{deg}$ という異なった視野角をそれぞれ持つために、地球上拡散面でQDの視野範囲の方が狭くなっているためである。[9]

また、LCEの視野指向地点における太陽とETS-VIの仰角をFig.4に示す。Fig.3(a)のCCDセンサの受光レベルとFig.4を比較すると、地球表面からのスペクトル放射発散度は太陽の仰角に依存していることが分かる。これは式(3)に示したように、太陽からのスペクトル

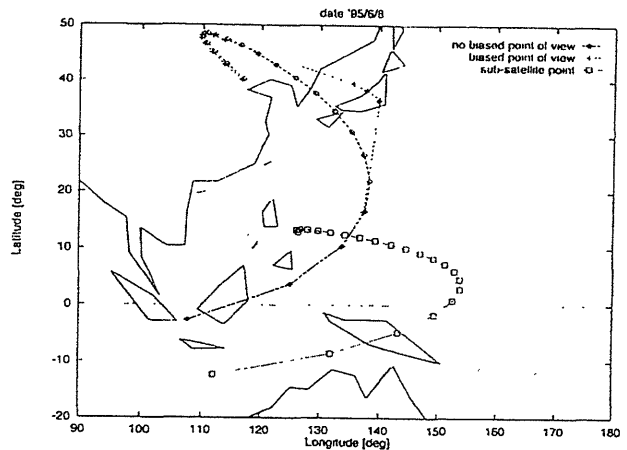


Fig.2 Calculated sub-satellite points and LCE observing points on the earth.

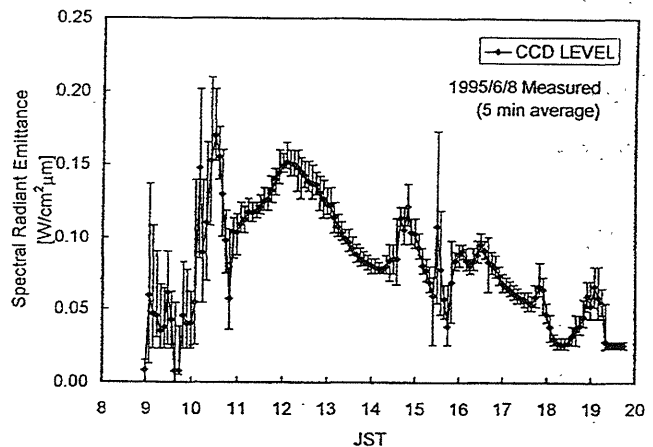


Fig.3(a) Radiant emittance from the earth surface obtained by CCD level.

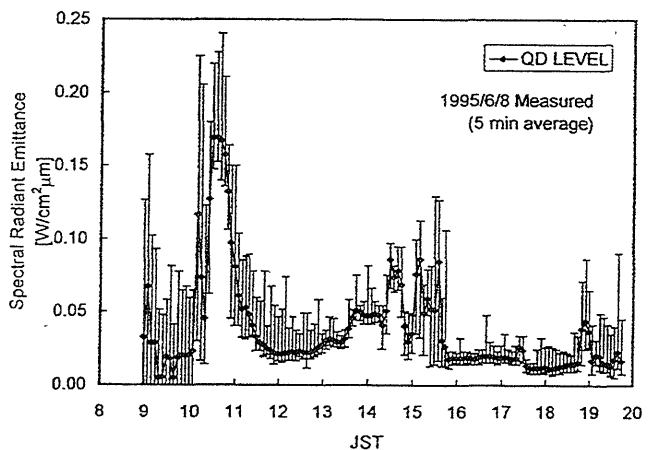


Fig.3 (b) Radiant emittance from the earth surface obtained by QD level.

放射照度は一定でも、地球からのスペクトル放射発散度が地球表面への太陽光線の入射角に依存するためである。

Fig.5 に式(4)に基づく実効反射係数への換算結果を CCD と QD レベルについてそれぞれ示す。Fig.5 から実効反射係数を読み取ると、約 90% を越えるような高い値になっていることが分かる。また同図から雲の無い陸や海等では約 12~13% 程度の反射があることが分かる。このような結果から、背景光強度は従来の子想通りであり、昼間でも LCE を用いたアップリンク光の検出は十分可能であることが言える。

### 5. まとめ

ETS-VI に搭載されている LCE を利用して地球表面の背景光の測定を行った。これにより地球表面でのスペクトル放射発散度の測定を行うことができ、背景光が強い場合には約 90% 以上の実効的な反射があること、またそれらは太陽光線の仰角に依存していること等を確認することができた。これらの結果は、将来の衛星間光通信において地球をバックグラウンドとして捕捉・追尾及び通信回線を構築する場合、例えば GEO-LEO、GEO-GND そして LEO-GND 間光通信等において、背景光雑音の検討などに有効なデータになると考えられる。

### 6. 参考文献

- [1] 林 理三雄, 井口 俊夫, 荒木 賢一, “光衛星間通信回線の検討”, 通信総合研究所季報, Vol.38, No.1, pp.43-72, 1992 年 3 月.
- [2] W.K. Pratt, “Laser Communication Systems”, Jhon Willy & Sons Inc. 1968.
- [3] 荒木 賢一他, “光通信基礎実験装置の開発”, 通信総合研究所季報, Vol.40, No.2, pp.153-179, 1992 年 3 月.

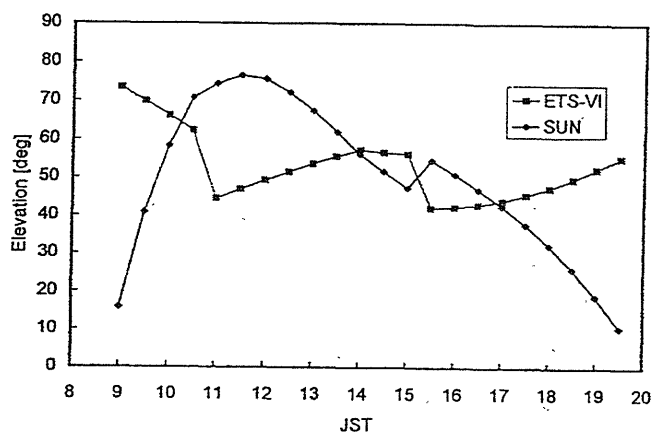


Fig.4 Elevation of sun and ETS-VI at measured points on the earth.

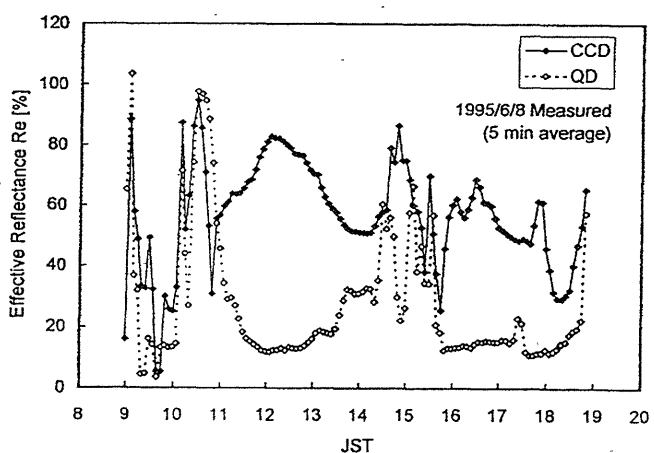


Fig.5 Effective reflectance of the earth surface.