

人工衛星 CE-SAT-IIB の夜間光データによる 東京都心部における光害評価の実現可能性

A feasibility study of light pollution evaluation
using CE-SAT-IIB night light data in central Tokyo

実利用ポスター
U6

YNU 横浜国立大学
YOKOHAMA National University

二宮輝 (Ninomiya Hikari) 清野友規 (Kiyono Tomoki)
横浜国立大学都市イノベーション学府 博士課程前期 2 年
Mail: ninomiya-hikari-mx@ynu.jp

背景・目的

屋外照明の増加、過度な照明の使用を原因とした
光害¹⁾の問題が古くから認識されている。



LED 照明の急速な普及

相次ぐガイドラインの改訂

ex) 光害対策ガイドライン、環境省 (2021)
屋外照明による障害光規制ガイド、国際照明委員会 (2017)

過去の研究

照度や輝度の測定など
対象範囲が特定地域の一部街路などに限定
網羅的に把握する手段に欠けている

本研究

超高解像度の夜間光データを用いた
屋外光環境の評価の実現可能性の検討



CE-SAT-IIB の超高解像度夜間光データ

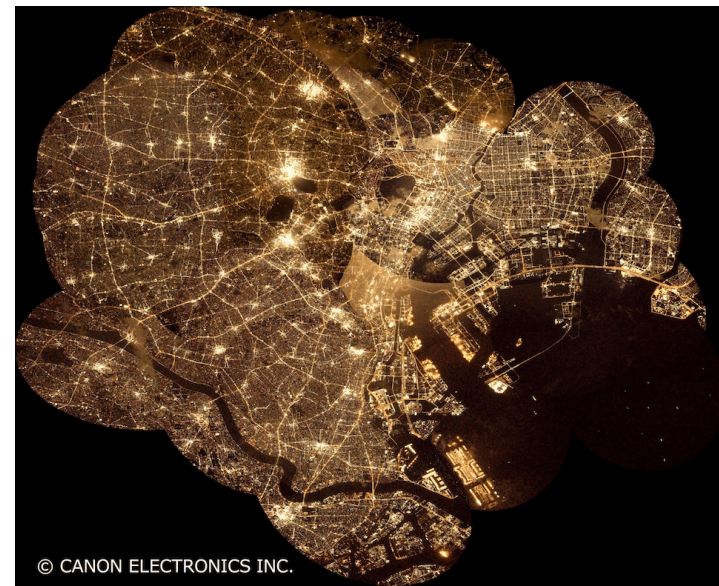
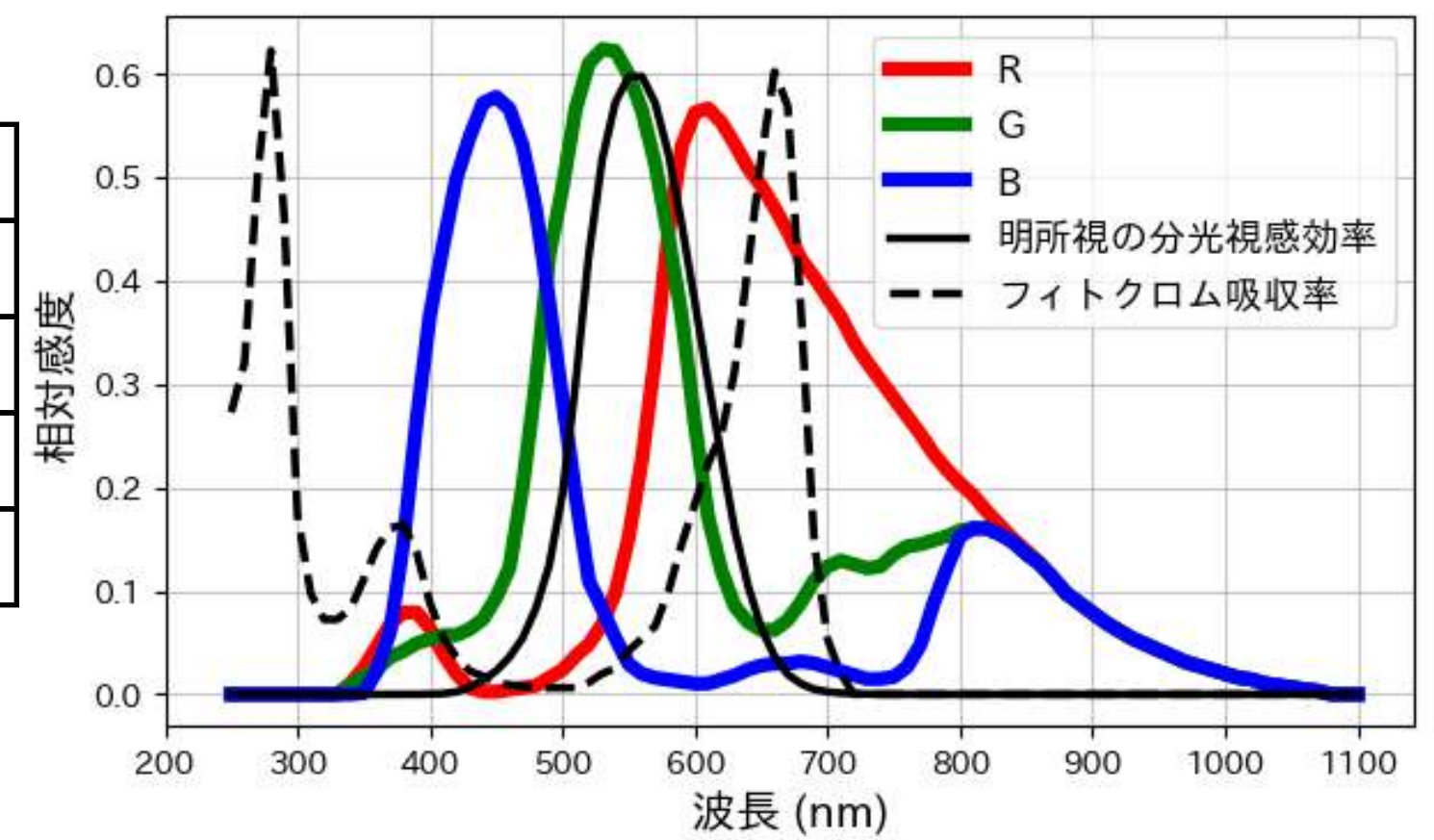


表 1 夜間光データ概要

衛星名	CE-SAT-IIB
運用機関	キャノン電子
運用開始	2020.10.29
地上分解能	5.1 m
出力値	DN 値 (RGB)



- 高解像度ゆえに、道路ごとと建物ごとの評価が可能
- RGB の 3 バンドから 14bit の DN 値のみ出力
- Tellus が提供する東京都 23 区のデータを使用

図 1 CE-SAT-IIB のセンサー分光感度 (RGB) と
フイクロム吸収率²⁾、ヒトの明所視の分光視感効率

地上観測照度と衛星観測値の関係

表 2 地上観測概要

観測期間	2023.10.24~2024.10.01
観測時間	衛星観測日時 (日本時間 21 時) の前後 1 時間
観測項目	・ 水平面分光放射照度 ・ 光源や周辺環境の記録
使用機器	・ 分光放射照度計 CL-500A (コニカミノルタ) ・ 360° カメラ Insta360 (Insta360)

表 3 分光放射照度計 CL-500A 仕様

視野角	10°
波長範囲	360~780 nm
出力波長幅	10 nm
測定範囲	0.1~100,000lx
確度	Ev: 指示値の ±2%±1 digit



図 2 観測機器

平地



図 3 平地観測箇所の様子



図 4 平地観測箇所 (大田区と練馬区)

図 5 照度測定地点の例
明るさの異なる 21 箇所 A~U (大田区 13 箇所、練馬区 8 箇所) を選定した。
データの地上分解能を踏まえた 15 m 四方の中の 9 地点で測定した。

都市農地



図 7 都市農地観測箇所の様子



図 8 都市農地観測箇所 (練馬区)

図 9 照度測定地点の例
練馬区内の都市農地 6 箇所 a~f を選定した。
農地を囲む街路において、6~8 m 間隔で測定した。

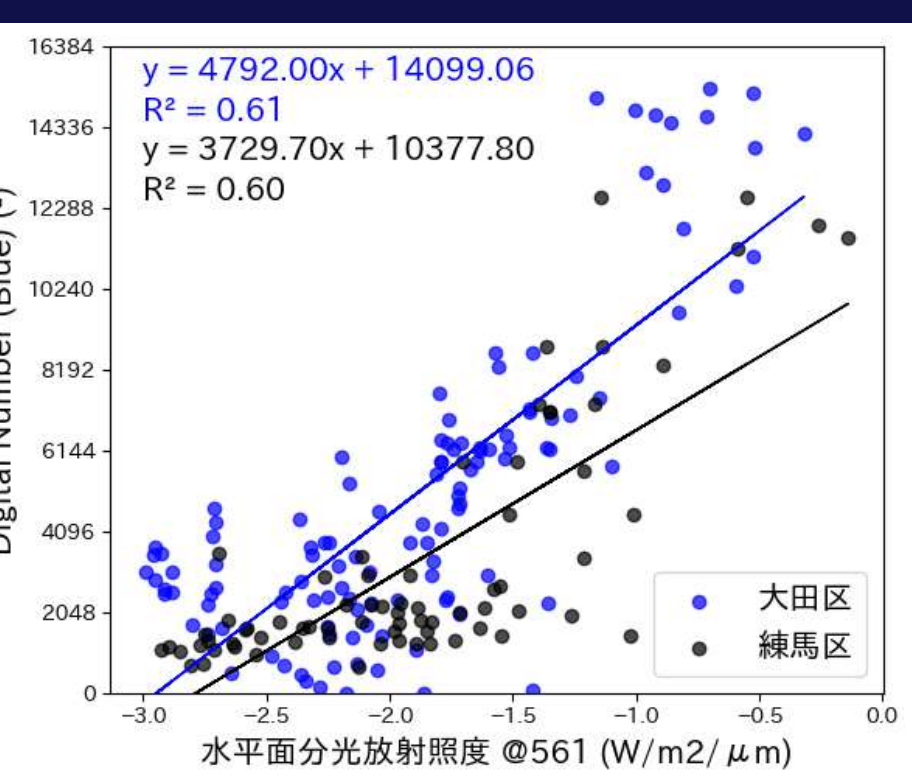
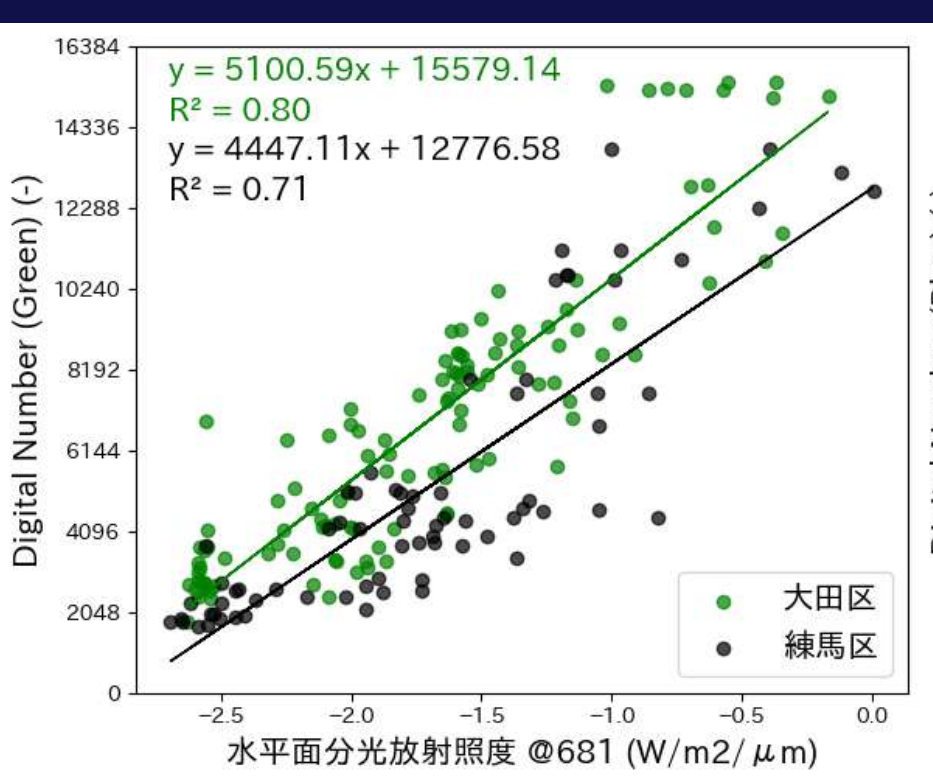
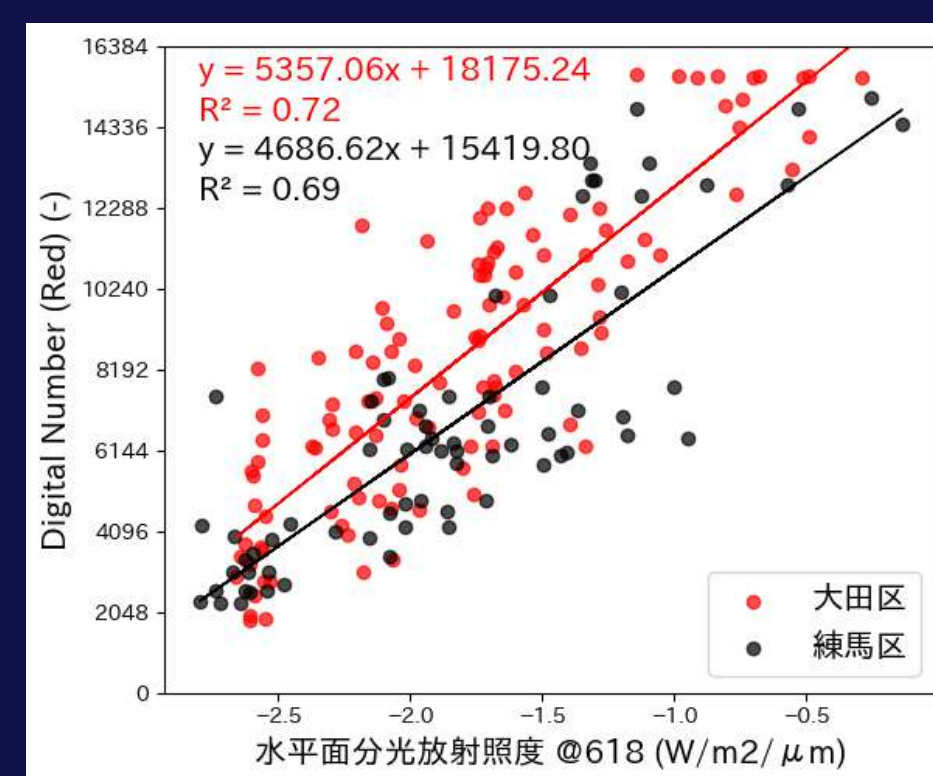


図 6 平地での衛星観測値 (DN) と水平面分光放射照度の対数値

- 平地では、地上観測分光放射照度に応じて、DN 値は対数的な増加傾向を示した。
- 近似式の R² は高く、双方の関係性は強い。

測定した分光放射照度について CE-SAT-IIB の分光感度 (RGB) で重み付けした値と衛星観測 DN 値 (RGB) と比較

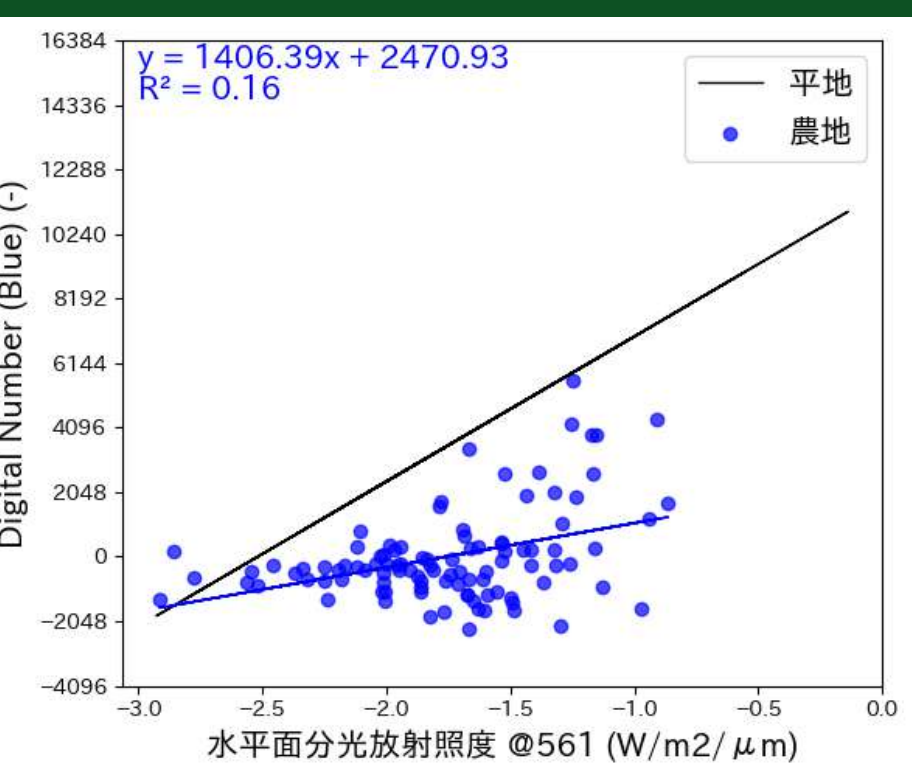
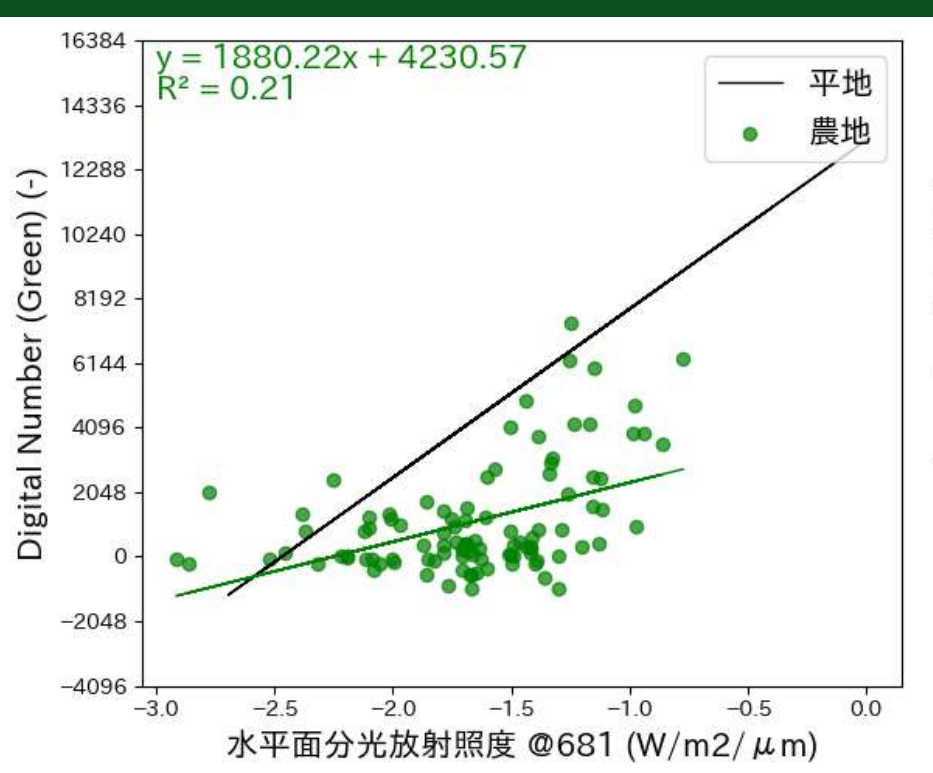
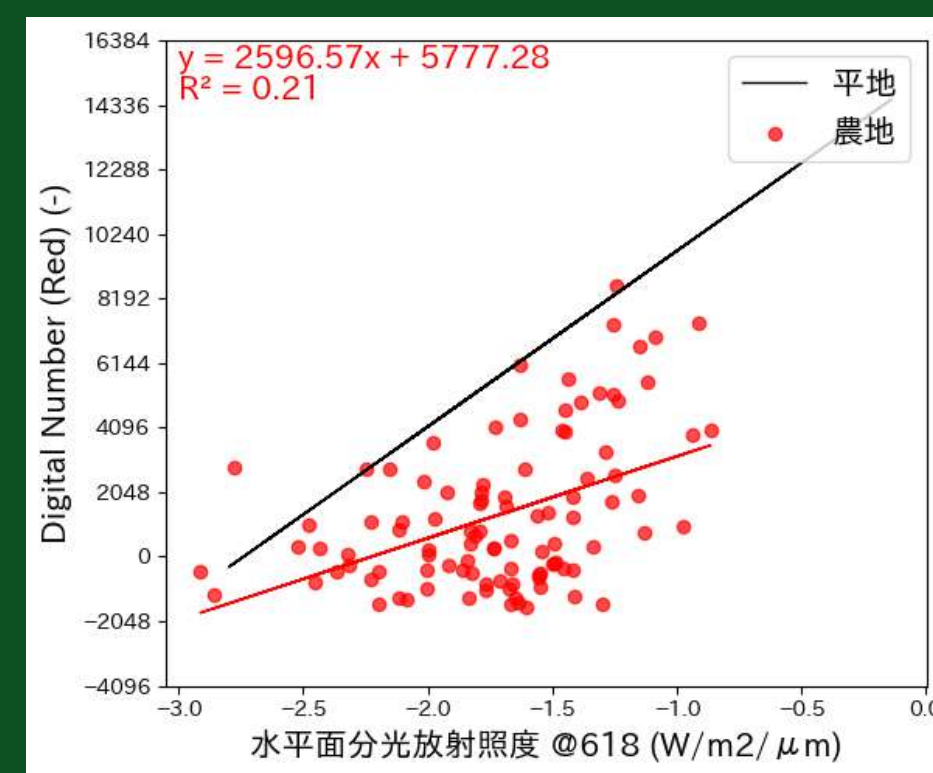


図 10 都市農地での衛星観測値 (DN) と水平面分光放射照度の対数値

- 都市農地では、近似式の傾きが平地と比べ小さくなり、R² は小さい結果となった。



図 11 屋上駐車場の夜間光データ

○ 屋上駐車場のよう、低照度だが衛星観測 DN 値が高い
地点では、レンズフレアやブルーミングの影響で
周辺ピクセルの値が飽和していたと考えられる。

レンズフレア: 強い光がレンズに入射することで、画像上に現れる不要な光の
にじみ。光がレンズ内部のガラス面や絞り羽根で反射散乱することで生じる。
ブルーミング: 強い光がセンサーに入りきらず、周囲ににじんで広がるように
見える現象。デジタルセンサーの飽和が原因で、受けきれない光が隣接するピク
セルに漏れてにじむ。

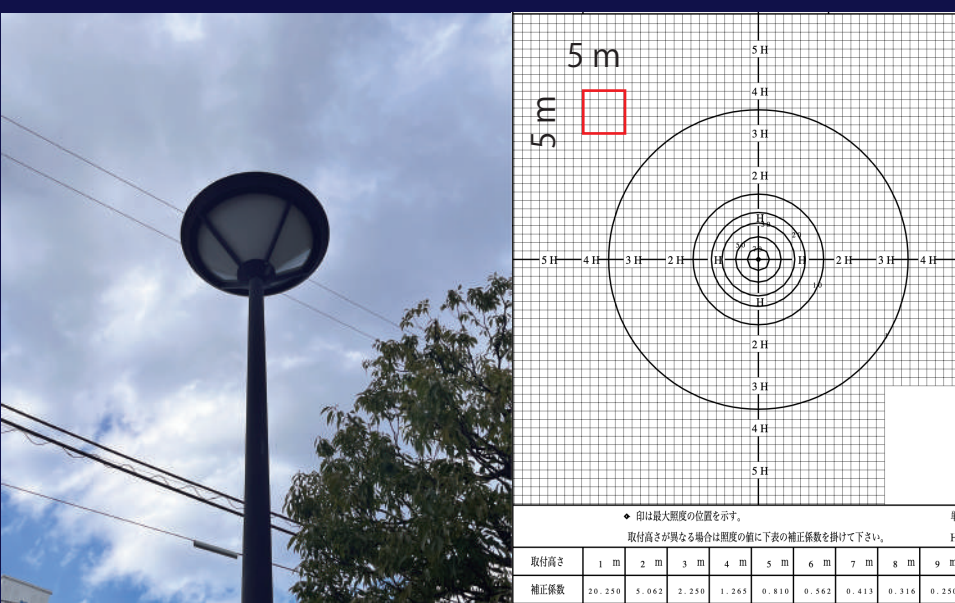


図 12 平地で見られた公園灯と等照度曲線

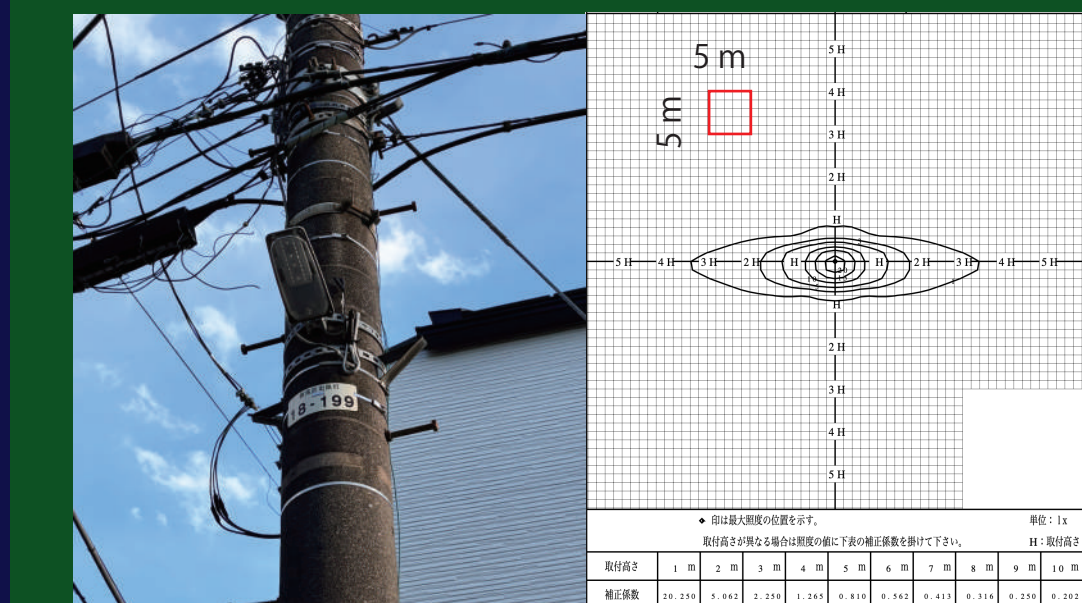


図 13 都市農地で見られた防犯灯と等照度曲線

平地では照明対象範囲の大きな照明器具が、
農地では指向性が強く上方光束の小さい (上方光束比 5% 以下)
防犯灯が多く見られた。

- 照明器具の違いにより、農地では平地と比較し、R² が小さく
DN 値に対して地上観測照度が高くなったと考えられる。
- 衛星観測値から、地上の明るさを推定するには
使われている**照明器具のデータが必要**であると考えられる。

農作物の生育への光害リスク評価の実現可能性

- ・ 都市農地で測定した水平面分光放射照度により
植物の光周性を制御する光受容体であるフイクロムの
吸収率で重み付けした照度を算出

$$E_p = \int E(\lambda) \alpha(\lambda) d\lambda$$

$E(\lambda)$: 農地で測定した水平面分光放射照度
 $\alpha(\lambda)$: フイクロムの吸収率 λ : 波長

- ・ フイクロム重み付け照度を目的変数に、
大気補正した R・G バンドの DN 値を説明変数とした回帰分析

- ・ フイクロム重み付け照度と出穂遅延日数³⁾ (Fig. 15)
を用いて、農作物の生育への光害リスクマップを作成

表 4 衛星観測値 (DN) から推定する回帰モデル

モデル	切片	R (x10 ⁻³)	G (x10 ⁻³)	RMSE	R ²	回帰式
重回帰	-3.52	4.14	5.93	0.38 (250% in E _p)	0.21 (Adj)	$\log E_p = \beta_0 + \beta_R \cdot DN_R (R/G) + \beta_G \cdot DN_G$
単回帰	0.000293	-	24.9	0.000606	0.34	$E_p = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot DN(G) + \epsilon$
指数回帰	0.00049	-	2.09x10 ⁵	0.000612	-	$E_p = \gamma_0 \cdot e^{\gamma_1 \cdot DN(G)} + \epsilon$

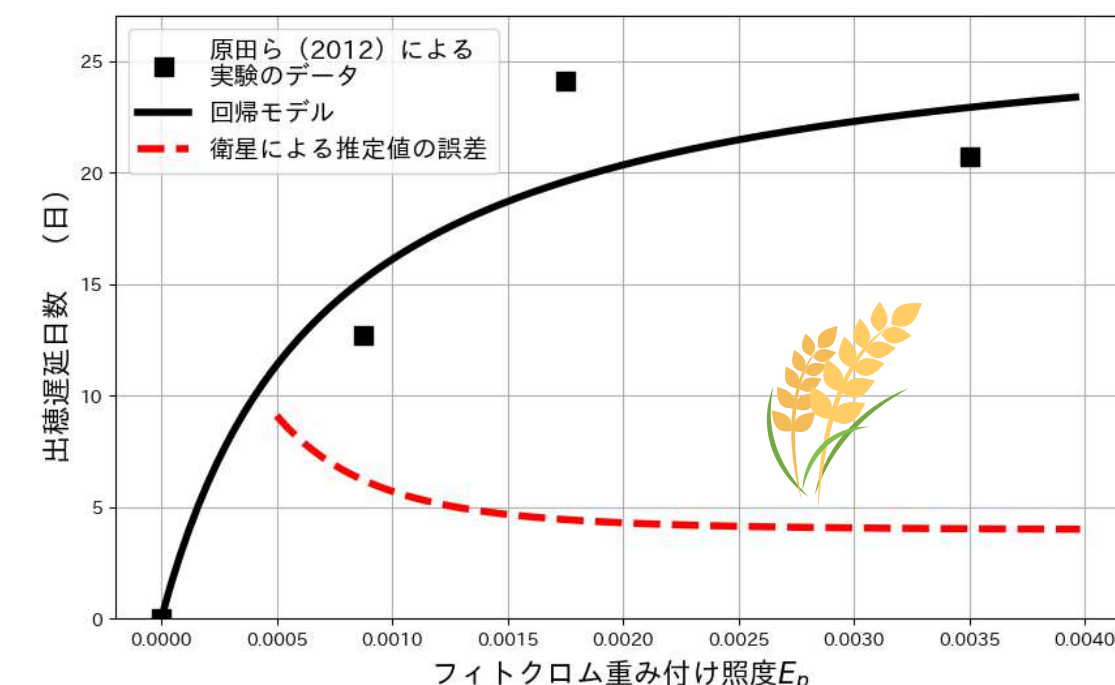


図 15 フイクロム重み付け照度と出穂遅延日数³⁾ (黒)
フイクロム重み付け照度と光害リスクマップの誤差 (赤)

明るい条件での出穂遅延日数の誤差は約 4 日である。
暗い条件 E→+0 の時、誤差は約 24 日となる。

- 光害リスクマップは十分に明るい地点では有用である。
- 農地周辺の防犯灯は上方光束が少ないため、
パサラディアンズ補正後の DN 値が 0 の地点で、
地上照度が正の値を示したと考えられる。

大気補正

- ・ Dark Pixel 法を用いて、
簡易的にパサラディアンズの影響を除去し、
大気透過率で DN 値を除算

$$DN_{R,cor} = (DN_R - DN_{R,dark}) / T_R$$

$DN_{R,cor}$: R バンドの補正済み DN DN_R : R バンドの DN 値
 $DN_{R,dark}$: R バンドのダークピクセルの DN 値の平均値
 $T_R = 0.84$ $T_G = 0.83$ $T_B = 0.81$

- ・ 大気透過率は、CAMS 再解析データと、
放射伝達コード 6S から算出した大気透過スペクトルと
CE-SAT-IIB のセンサー分光感度を用いて算出

$$T_R = \int S_R(\lambda) T(\lambda) d\lambda$$

T_R : R バンドの大気透過率 $S_R(\lambda)$: R バンドのセンサー分光感度
 $T(\lambda)$: 大気透過スペクトル λ : 波長

表 5 放射伝達コード 6S 設定パラメーター

Parameter	Setting
Atmospheric Profile	Marine
Aerosol Profile	Milid-Artide Winter
AOT550	0.21
Water (m ²)	0.82
Ozone (cm-atm)	0.35
Altitude (km)	0.24
Zenith Angle (°)	54.8

表 6 大田区及び練馬区をカバーする夜間光データのダークピクセル平均値

	DN _{R,dark}	DN _{G,dark}	DN _{B,dark}	データ (トータルカラー)
大田区	3953±245	2591±104	2063±123	
練馬区	2585±85	1806±55	992±63	

- ・ 地上照度がゼロと思われる地点 (河川や大規模な緑地) を抽出し、
DN 値の平均値を算出した。大田区と練馬区で値が異なった。

○ パサラディアンズの強度が地域によって異なることを示唆

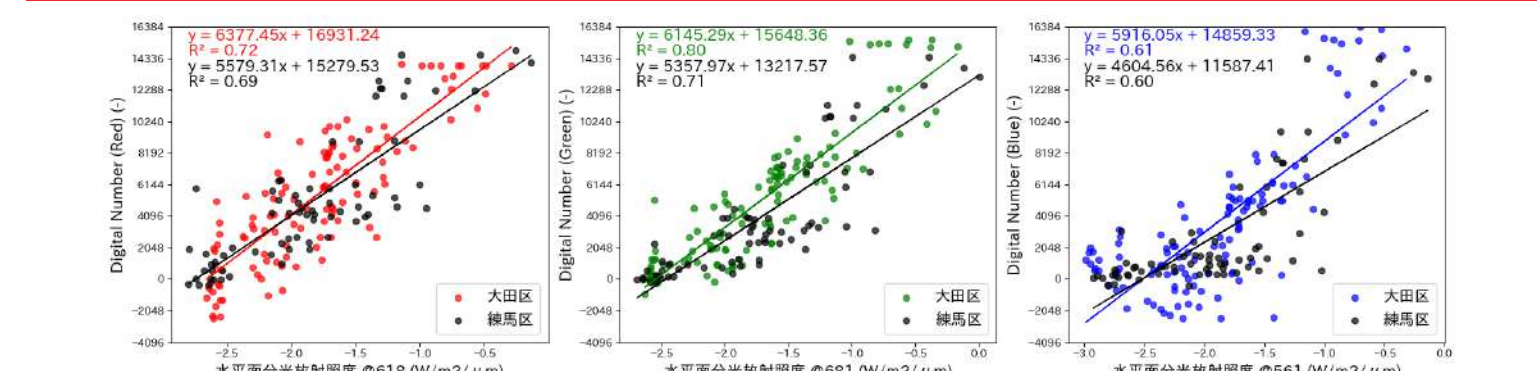


図 16 大気補正後の平地での衛星観測値 (DN) と水平面分光放射照度

- 大気補正前では、大田区練馬区共に R・G バンドにおいて、
地上照度ゼロの場所でも 一定の DN 値 (オフセット) が
見られたが、Dark Pixel 法により解消したことを確認した。

位置情報の精度検証



図 17 皇居前広場のフットライト

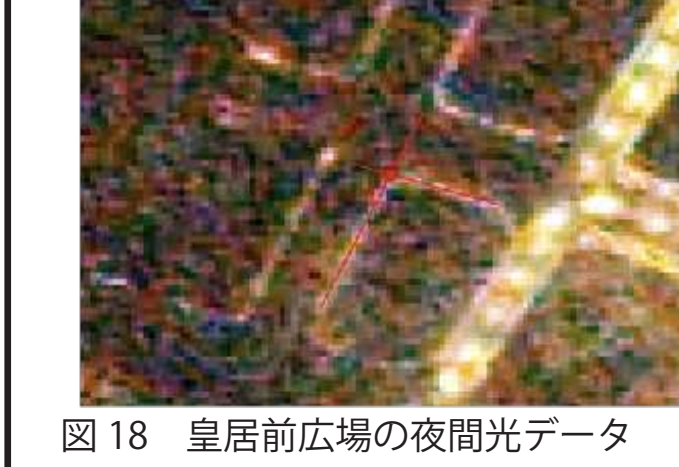


図 18 皇居前広場の夜間光データ

- ・ 幾何的誤差が生じないはずである
光源高さ約 0 m のフットライトが
設置されている皇居前広場を選定
- ・ 皇居前広場を含む夜間光データ
4 枚ごとに、フットライトの線を
なぞるように線をひき、その交点
から位置情報の精度検証

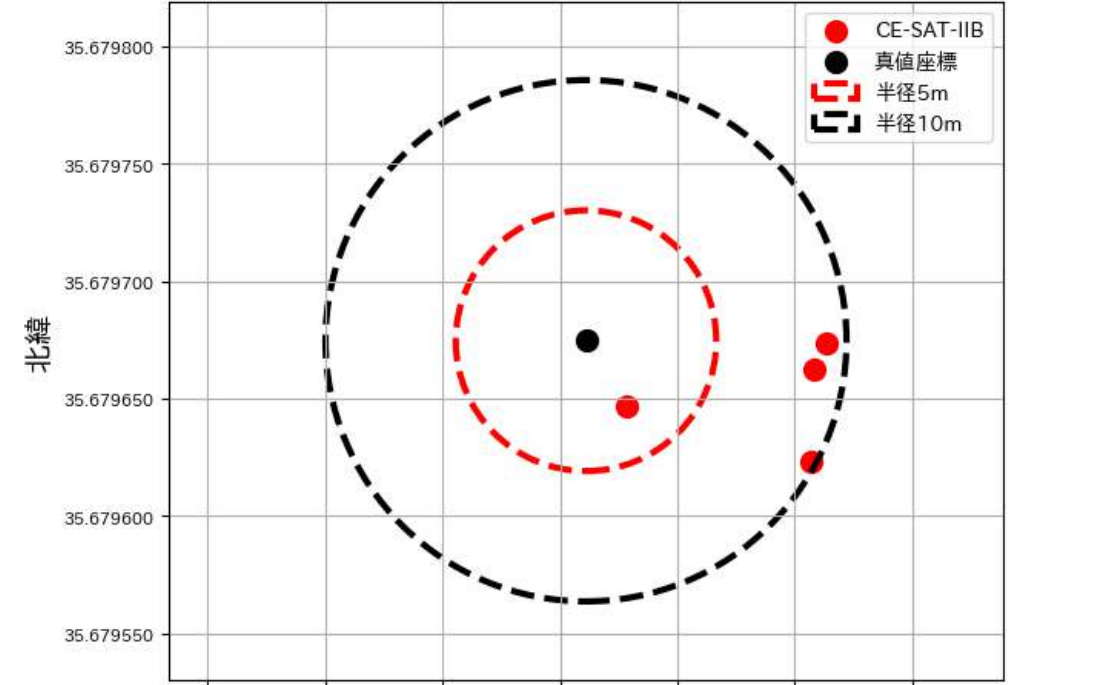


図 19 位置情報の精度及び正確度検証結果
○ 真値座標との誤差は最大でも約 9.1 m
地上分解能の 2 倍の範囲に収まっていた。

【参考文献】

- 1) 環境省: 光害対策ガイドライン令和 3 年度改訂版、2021
- 2) 福富哲: 植物の視物質フイクロムの分子構造と光情報捕獲機構、生物物理、第 33 巻第 2 号、pp74-80、1993
- 3) 原田陽子: LED の波長・発光制御を変化させた夜間光照射がイネ開花誘導遺伝子 Hd3a の発言に及ぼす影響、照明学会誌、第 96 巻第 11 号、pp733-738、2012

図 14 農作物の生育への光害リスクマップ

○ 主要道路沿いの都市農地では、光害リスク
(15 日以上の出穂遅延) が確認された。