

背景と目的

カーボンニュートラル社会移行へ向けて、近年二酸化炭素(CO₂)やメタン排出源のモニタリングの需要が高まっているが、既存の温室効果ガス観測技術衛星は空間分解能が数km(例えばGOSAT-2(いぶき2)は9.7km、Sentinel-5Pは7km)であり、ガス排出源の特定やモニタリングは困難である。

一方、国際宇宙ステーション(ISS)に搭載されているHISUI(Hyperspectral Imager SUlte)センサは20m×31mの高い空間分解能を有する。

目的

既存のハイパースペクトルセンサ(EO-1 / Hyperion、航空機搭載型センサAVIRISなど)で実績のあるCO₂およびメタンガス検知手法をHISUIセンサデータに適用し、ガス排出源の検知結果について検証する。

光学衛星データを利用したガス検知の基本原則

地表から反射あるいは放射された電磁エネルギーは、大気中に存在する水蒸気、CO₂、メタンなど特定の気体成分により吸収される。CO₂、メタンが存在する場所では、特定の波長帯(例えばメタン:2,150~2,450nm付近、CO₂:1,980~2,100nm付近)で反射率が小さくなる。この特徴を利用し、CO₂やメタンを区別して検知することが可能である。

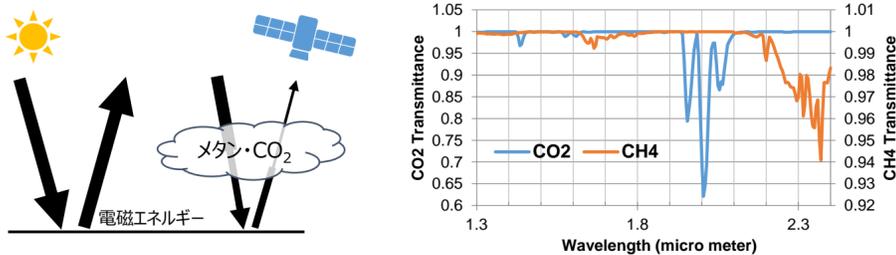


Fig.1. Schematic diagram of electromagnetic energy attenuation by GHG (left) and CO₂ and CH₄ transmittances (MODTRAN) (right).

HISUIセンサの性能

HISUIは、経済産業省から委託を受けた一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構が開発・運用する宇宙実証用ハイパースペクトルセンサで、2019年12月12日にISSの「きぼう」に設置され、2022年10月12日にデータが一般公開された。

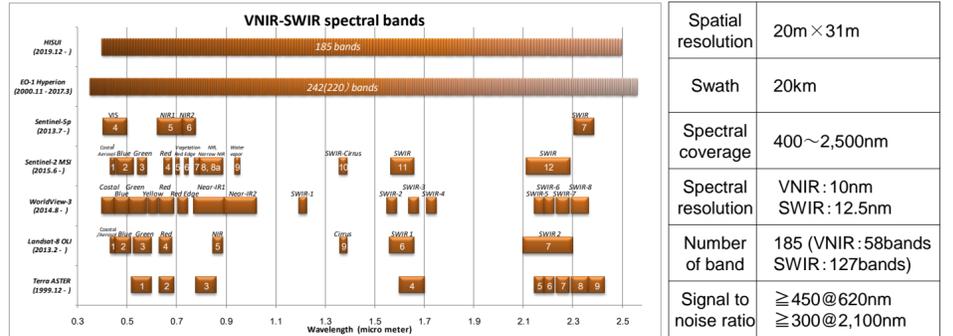


Table 1. Spectral bands of HISUI & other sensor (left) and basic specifications of HISUI (right).

解析手法

i. CO₂検知

CO₂ CIBR (Continuum Interpolated Band Ratio (Spinetti et al.(2008)) を適用し、CO₂の大気透過率が顕著に減少する波長2,000nm付近の3つのバンド(B146: 1,987.645nm、B148: 2,012.625nmおよびB150: 2,037.605nm)を利用してCO₂検知を試みた。

ii. メタン検知

Bradley et al.(2011)が用いた、メタンの大気透過率が比較的顕著に減少する2,300nm付近のバンド171(2,299.895nm)とCO₂の大気透過率の減少するバンド152(2,062.585nm)を利用した比演算処理を行った。

解析結果

i. 製鉄所を対象にしたCO₂検知結果

アノマリ(図中白矢印)は、煙突、フレア、溶鉱炉と推定される建物の上に位置しており、製鉄所から排出された比較的高濃度のCO₂の存在を示唆している。

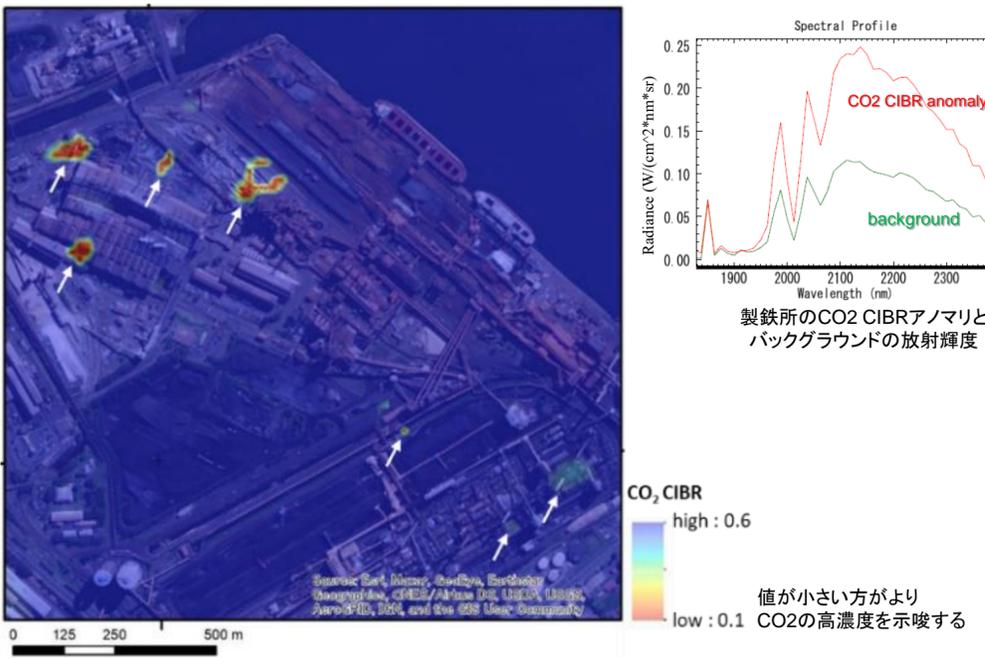


Fig.2. CO₂ CIBR map around a steelworks.

ii. 石油関連施設を対象にしたメタン検知結果

6箇所のアノマリは石油関連設備からの排出を示唆している。下図中央の東北東方向へ伸びたアノマリは、HISUI観測時の風向きを反映したものの可能性がある。

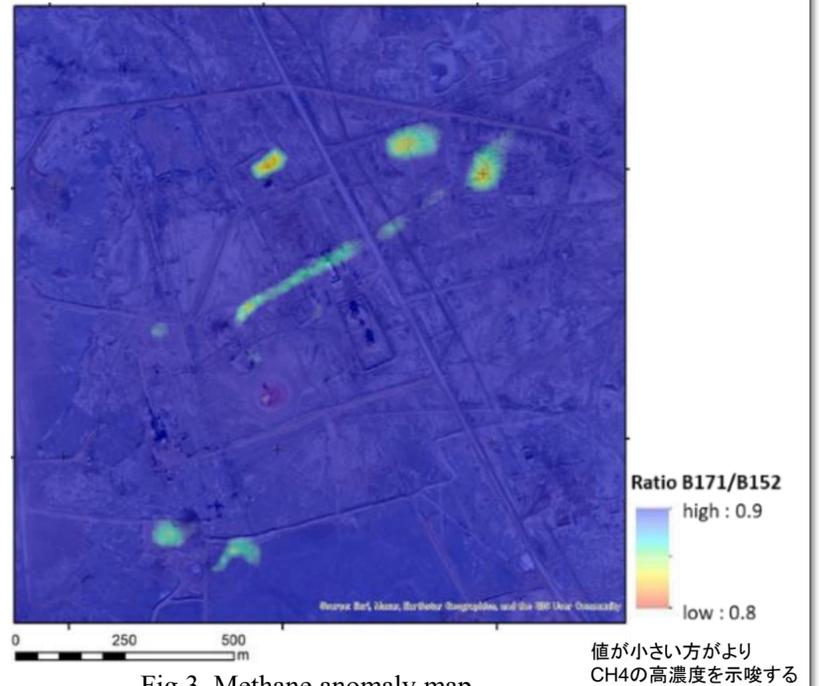


Fig.3. Methane anomaly map.

HISUIによるCO₂の検出限界値の検討

本研究で調査対象とした製鉄所の2017-2018の1年間の直接排出量(Scop1)は6,270,000トンであり、大気中への1日あたりの放出量は17,178トンに相当する。したがって、1日あたりのCO₂放出量が10,000トンを超えるような事象であれば、HISUIデータからCO₂を検知することが可能かもしれない。

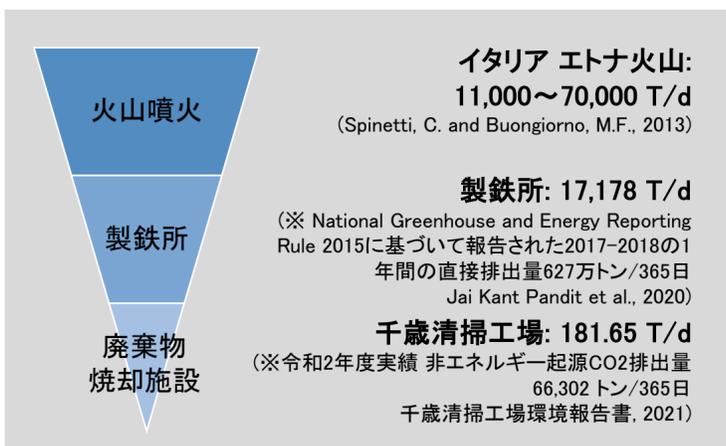


Fig.4. Comparison of CO₂ emissions per day.

まとめ

- 既存のハイパースペクトルセンサデータの解析で利用されているCO₂ CIBR手法が、HISUIデータへの適用とデータ解析が可能であることを確認した。
- 本研究では、10,000トン/日規模の排出源において、CO₂検知が可能となったが、CO₂検出限界値については、今後、製鉄所よりも小規模なCO₂排出源を対象に解析・精査し、検討する必要がある。
- メタンについても、既往の単純なバンド間の比演算処理によってアノマリの検知が可能であることを確認した。検出限界値の評価については、今後の課題である。

謝辞

本研究は、経済産業省から委託を受けた一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構が実施する「令和3年度石油資源遠隔探知技術研究開発(ハイパースペクトルセンサ等の研究開発)」の一環として実施したものである。

Reference

- Bradley, E. S., Leifer, I., Roberts, D. A., Dennison, P. E., and Washburn, L. : Detection of marine methane emissions with AVIRIS band ratios. Geophys. Res. Lett., vol. 38, 4pp, 2011.
- Berk, A., Conforti, P., Kennett, R., Perkins, T., Hawes, F., & van den Bosch, J.: MODTRAN6: a major upgrade of the MODTRAN radiative transfer code, Proc. Of SPIE 9088, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XX, 90880H, 2014.
- Pandit, J and Qader, A. : Reduction of Greenhouse Gas Emission in Steel Production Final Report. CO₂CRC Ltd, Melbourne, Australia, CO₂CRC Publication Number RPT20-6205, 2020.
- Spinetti, C., Carrère, V., Buongiorno, M. F., Sutton, A. J. and Elia, T. : Carbon Dioxide of Pu'u'O'o Volcanic Plume at Kilauea Retrieved by AVIRIS Hyperspectral Data, Remote Sensing of Environment, Vol. 112, No. 6, pp. 3192-3199, 2008
- Spinetti, C. and Buongiorno, M.F. : PRISMA MISSION Volcanic Carbon dioxide measurements from Hyperspectral data. 2013 HypsIRI Science Symposium, Greenbelt, Maryland, 29-30 May 2013.
- 千歳清掃工場 : 環境報告書2021. 東京二十三区清掃一部事務組合千歳清掃工場, 2021.