

宇宙からの環境変動の計測と ワンヘルス・ワンワールド

東京大学 生産技術研究所
竹内 渉

1. はじめに

人類の生存に必要な大気・大地・森林・海洋などの地球環境や生態系、自然資源、特定の国の管轄権が及ばない公海、宇宙、サイバー空間も含めて、国際的公共財を「グローバルコモンズ」と呼んでいる。近年の気候変動による洪水や火災などの自然災害の頻発、新型コロナウイルスなどの新たな人獣共通感染症の発生など、深刻な結果が目の前に起こり、人類社会は未曾有の危機に陥っている。

図1に示すように、大気や水・生態系といった自然環境の状態とそれらの変化は、ヒトと動物の健康に極めて深く関わっている。学術分野において、医学・獣医学・環境学が別々に研究しているのでは、今後起こりうる新興感染症のリスクに対して不十分であるとの主張が、欧米では早くから議論されてきた。感染症を防ぎ、ヒトや家畜、それらを取り巻く生態系の健康を守るための学際的な研究を、総合的に発展させることが不可欠との新たな概念として“**One World, One Health**”が生まれ、2004年の国際会議で、WHO、OIE、FAO、世界銀行、UNICEF

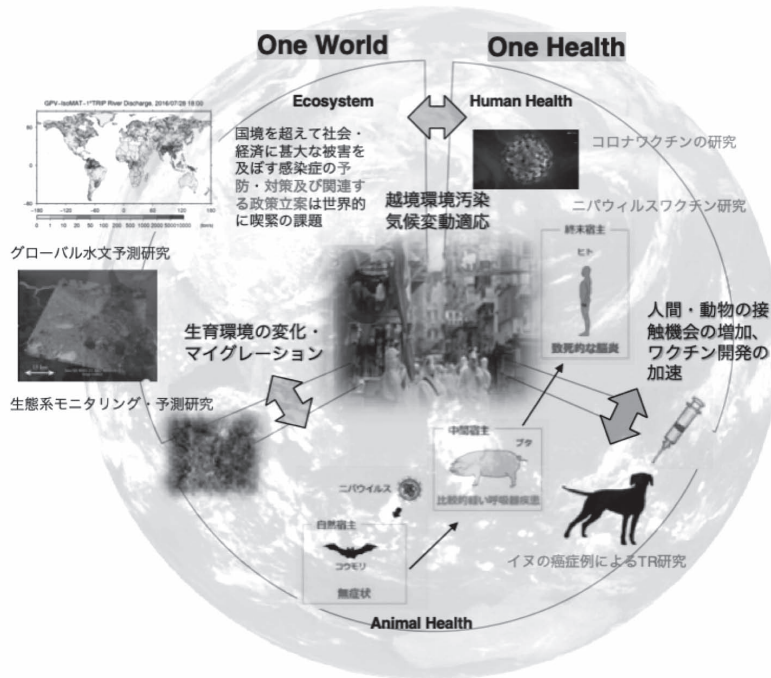


図1 ワンヘルス・ワンワールドの概念図 (<http://ohow.iis.u-tokyo.ac.jp/>)

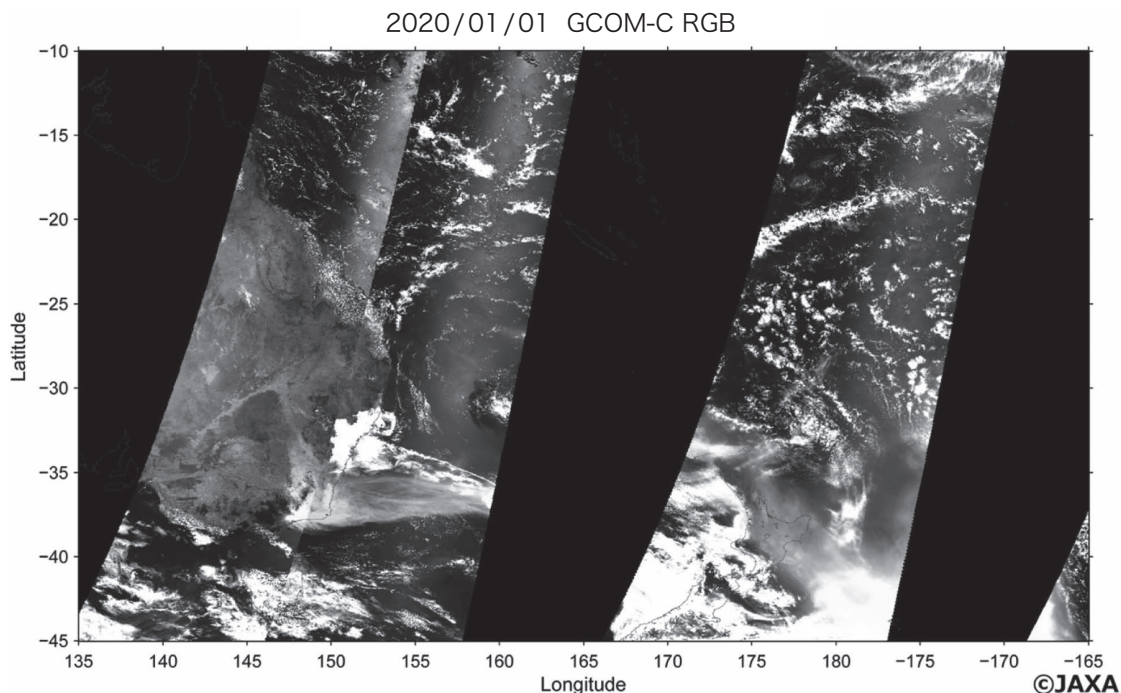


図2 JAXAの衛星「しきさい」に搭載されたGCOM-Cのカラー画像が捉えたオーストラリアの林野火災と煙
(2020年1月1日の画像) JAXA EORCウェブサイトより引用

などによりマンハッタン原則として提唱された。

現在は、森林生態系、雪氷や氷河、洪水と旱魃、大気汚染など、世界中のさまざまな環境情報を宇宙から観測する技術開発が進み、地球の健康状態が常に監視されている。米航空宇宙局（NASA）、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、欧州宇宙機関（ESA）など、各国の宇宙機関が運用しているリモートセンシング衛星がその役割を担っている。近年では、こうした国家機関だけではなく民間企業でも衛星を打ち上げ、ビジネス展開を図る活動が活発化しており、ビッグデータとしてオープンデータ、オープンソース化の波に乗っている。

本稿では、リモートセンシングが、特に陸域生態系の計測、人間の健康や経済など社会に及ぼす影響、対策方法などにどう利用されているのか、実例をいくつか紹介したい。

2. 林野火災による森林生態系の消失

森林はわれわれの周りにある自然の恵みの1つであり、その恩恵を得て生活している。国連で2015年に採択された「持続可能な開発目標（SDGs）」では、目標

15として「陸の豊かさを守ろう」を掲げている。森林生態系は、野生生物の生息地として重要であるが、地球の陸地のおよそ3分の1を占める森林が私たちの生活を支え、気候変動の影響で大規模な火災が世界中で頻発し、毎日どこかで森が燃えているという事実は、世界人口の70%が都市に居住している現在、日常生活では直接肌で感じにくい。わが国では各種報道は少ないが、地球の肺と言われるアマゾン、極北に広がるシベリアの森、米国カリフォルニア、ギリシャ、オーストラリア、インドネシアなどでは、近年の気候変動の影響を受けて大規模な火災が起こっている¹⁾。

例えば、図2と図3は、2020年1月1日に、JAXAの衛星「しきさい」に搭載されたGCOM-Cが、カラー画像と偏光反射率画像から捉えたオーストラリアの林野火災と煙である。世界で唯一偏光計測が可能な「しきさい」の画像では、火災の煙が太陽光を散乱する際の偏光を見ることができ、高解像度かつより鮮明に煙を捉えることができる。これらの衛星画像は、火災によって失われた、コアラやカンガルーなど野生生物の生息域の被害状況を正確に把握するとともに、現地消防隊への情報提供によ

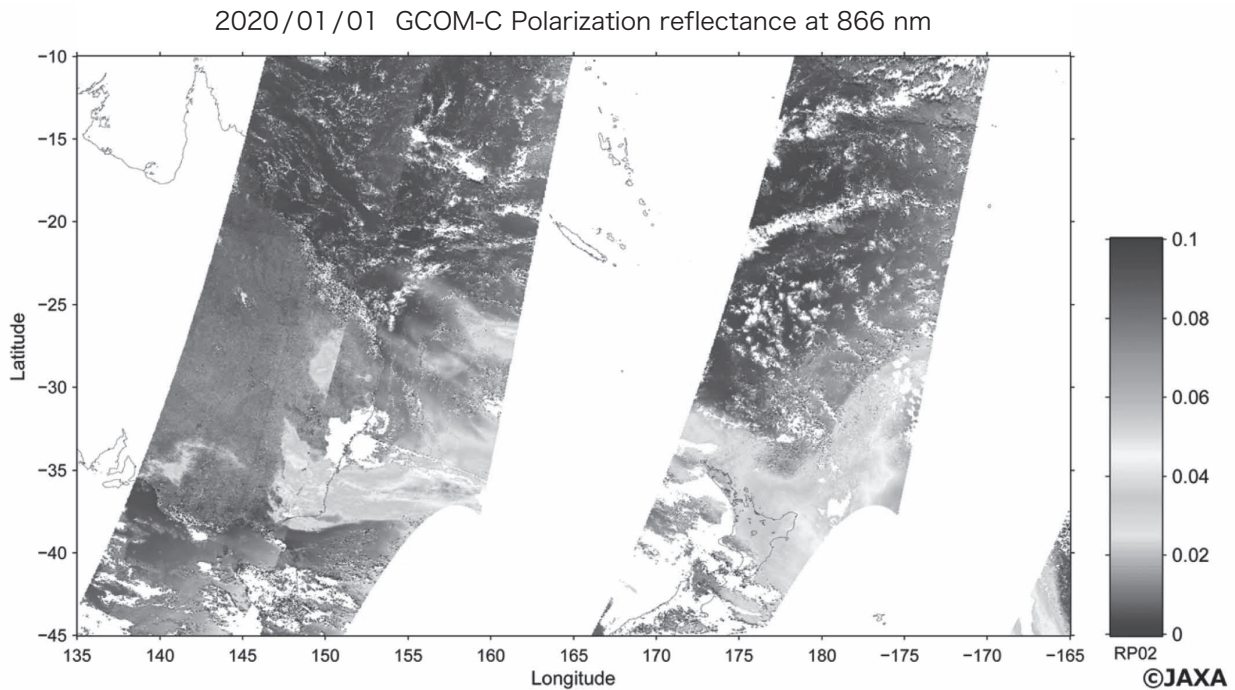


図3 JAXAの衛星「しきさい」に搭載されたGCOM-Cの偏光反射率画像が捉えたオーストラリアの林野火災と煙 (2020年1月1日の画像) JAXA EORCウェブサイトより引用。

る消火活動の支援、環境修復への計画策定に利用されている。

また、気象衛星ひまわりから得られる植生分布、地表面温度分布、降雨分布 (GSMaP) などを効果的に組み合わせることにより、干魃の情報を準実時間で提供するシステムの運用も始まっている (<http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/DMEWS/>)。

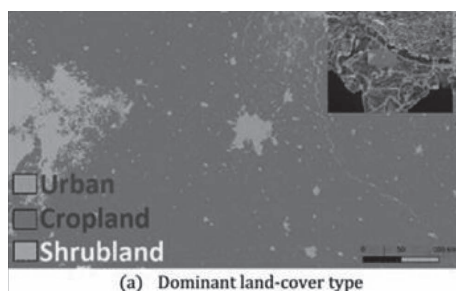
3. インドでのロックダウンと大気の浄化

森林火災は野生生物の生息域損失を招くが、同時に、工場、発電所、車両からの排気ガスなどと同様に大気汚染物質を発生させる。これらには数千種類もの物質が含まれているとされるが、その中でもPM2.5と呼ばれる直径2.5 μm 以下の微小粒子状物質がよく知られている。健康に悪影響を及ぼすPM2.5は、リモートセンシングでよく観測でき、わが国だと日本気象協会 (<https://tenki.jp/pm25/>)、米環境保護庁 (EPA) でも監視対象となっている。

煤煙が人間の健康にとってどの程度の脅威となるのかについては、まだ完全にわかってはいないが、初期の研究は、煙はこれまで考えられていた以上に毒性が高い可

能性が示唆されている。例えば、上気道系の働きを阻害したり、肺の奥深くに入り込んで免疫系を混乱させることで、コロナウイルスに罹患しやすくなるとの指摘もある。

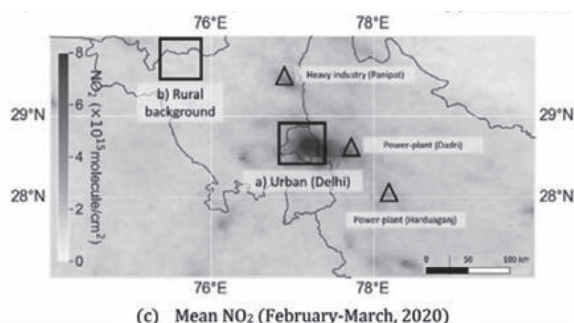
コロナ禍で社会経済活動に大きな影響があるなか、ロックダウンが実施された地域ではPM2.5を含む大気汚染が浄化したことが世界中で報告されている。筆者がメンバーとして参加している地球環境学総合研究所のAAKASHプロジェクト (代表・林田佐智子教授) では、**図4**に示すように、世界でも有数の大気汚染の過酷な都市であるインドの首都デリー周辺で、数年にわたる季節的および年次の衛星データを分析して、ロックダウンがなかった場合の大気汚染レベルを予測した。定常状態における連続の方程式を用いて、排出量を推定したところ、**図5**に示すように、自然現象だけでは2020年の窒素酸化物 (NOx) レベルの劇的な低下をまったく説明できないことが報告された。また、ロックダウン後、窒素酸化物排出量は都市部よりも農村部のほうが早く元のレベルに戻っていたが、農業活動への取り締まりが工業活動ほど厳しくなかったためだと見られている。結果的にリバウンド現象が起こったわけだが、社会経済と環境の



Policy restriction	Applicable dates (week-of-year in 2020)
BAU	Jan. 1-Mar. 22 1-12
Curfew	Mar. 22
Phase 1	Mar. 22-Apr.14 (13-15)
Phase 2	Apr. 15-May 3 (16-18)
Phase 3	May 4-May 17 (19-20)
Phase 4	May 18-May 31 (21-22)
Phase 5	Jun. 1-Jun. 30 (23-26)

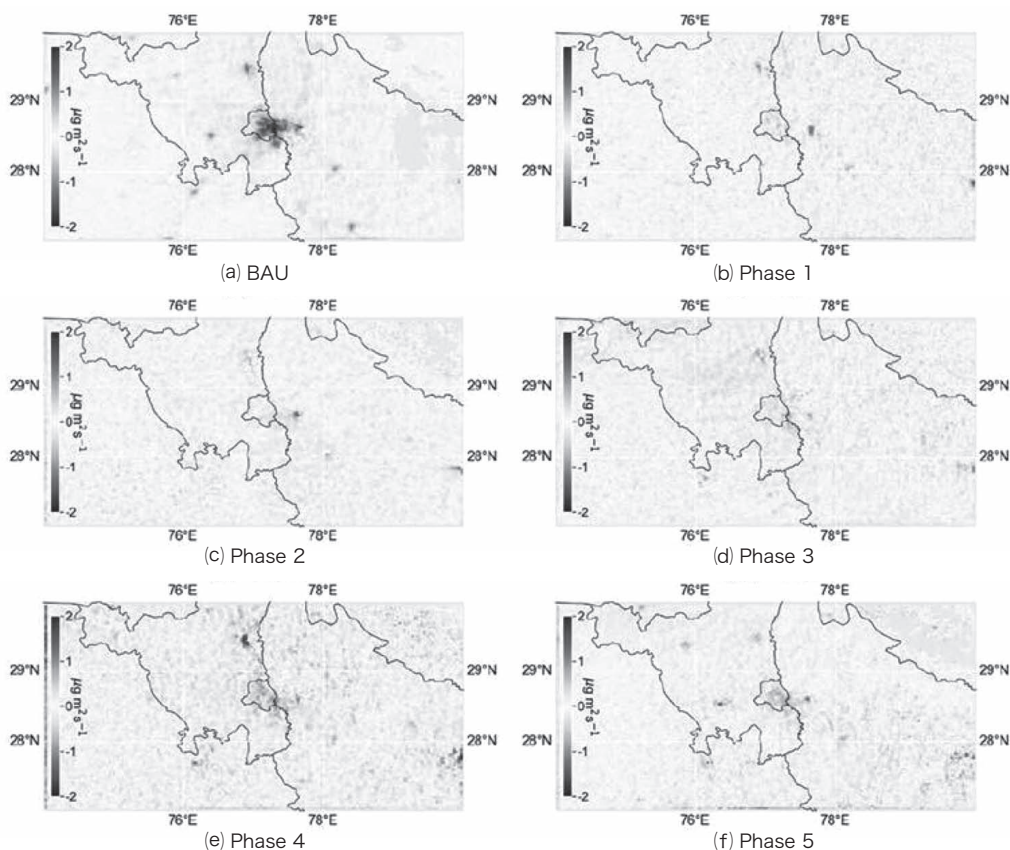
(a) インド・デリー周辺の対象地域（東経74度、北緯27度）から（東経80度、北緯30度）の範囲。主要な土地被覆タイプは、都市部、農地、灌木地である。

(b) ロックダウン政策がとられた期間（BAUは通常の活動状態を指す）。



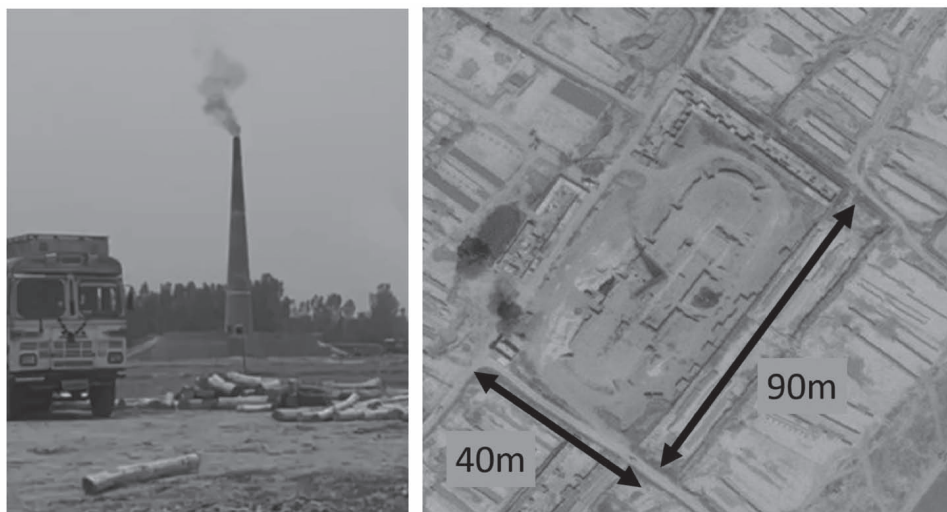
(c) 2020年2月1日から3月20日までの衛星センサー TROPOMI で得られた平均NO₂カラム密度。地球研・東大生研合同プレスリリースより引用。

図4 インドの首都デリー周辺の大気汚染レベルの予測

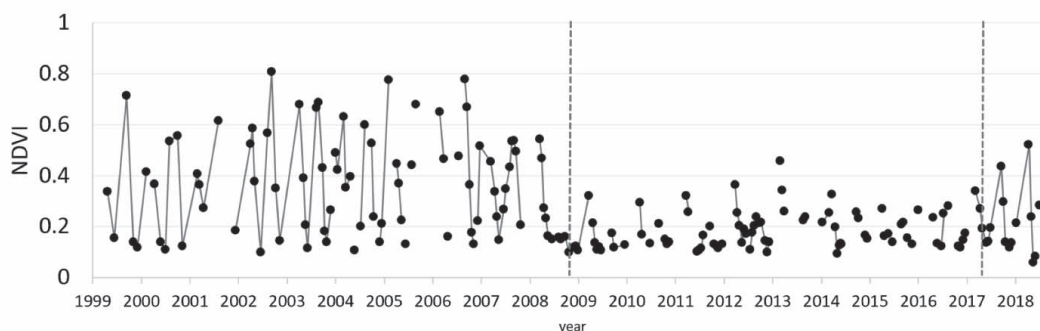


(a) BAUの時期、(b)~(f)は図1に示されたロックダウンの各期間に対応。地球研・東大生研合同プレスリリースより引用。

図5 2020年の、ロックダウンの各期間に対応した、窒素酸化物排出フラックスの平均推定値



(a) インドの焼成レンガ工場の地上からの写真と Sentinel 2衛星画像



(b) 植生指数NDVIを利用した工場稼働状況の監視例 2009年に稼働を停止したが、2018年から再稼働していると推測される

図6 大気汚染物質排出の実態の計測

バランスのあり方について深く考えさせられるきっかけとなったことは間違いない²⁾。

4. インド、バングラデシュ、パキスタンの住宅建材製造と炭素排出

インド、バングラデシュ、パキスタンなどでは、工業活動からの炭素排出も発生源として重要で、建材として使用されているレンガ工場から排出される煤煙の健康被害が報告され、大きな社会問題となっている。インドでは、1996年には初めてレンガ工場に対する排出基準が定められ、2010年代以降には各州が独自にレンガ工場に対する規制を定める動きが多くみられたが、未だレンガ工場からの大気汚染物質排出は止まらない。

筆者らは、こうした排出規制と実態との乖離を明らか

にする目的で、リモートセンシングを用いた技術開発を行っている。図6(a)は、インドの焼成レンガ工場の地上からの写真と衛星Sentinel2による計測画像を示している。煤煙が発生している様子が双方から読み取れるが、定期的な地上踏査は現実的ではない。そこで図6(b)に示すように、典型的な植生指数NDVIを利用して工場周辺の年次変動・季節変動を調べたところ、2009年に稼働を停止したが、2018年から再稼働していると推測されることがわかった。2014年に欧州宇宙機構（ESA）によって打ち上げられたSentinel2画像は、米国のLandsat画像と同じ30 m程度の解像度をもち、Google Earth EngineやAmazon Web Serviceなどから無料でデータが提供されているため、クラウド上で大量のデータを一度に処理できるため、基礎的なプログラミング処理能力

があれば、こうした常時観測とデータ処理を誰でも簡単に実現できる環境が急速に整いつつある。

こうした違法操業をしている例が多くなかで、視認しやすいレンガ工場が適切にモニタリングされることは、リモートセンシングデータの価値を高められると思われる。レンガ工場の違法操業は、排出の少ない設備に投資する資金が不足しているためにやむなく行われているからであり、「行政側が積極的に監督をしていない」ことと、規制を満たした方法で生成された価格の高いレンガに対して「消費者からの需要やプレッシャーがない」ことが悪循環を生んでいることがわかっている³⁾。

現在は、インド工科大学カンプール校 (IITK) やバンガラデシュのダッカ大学医学部と連携して、大気汚染に関する人間への健康影響評価に関する研究プロジェクトに向けて、準備を進めている。

最後に

1972年にローマクラブが発表した「成長の限界」によると「人口増加や環境汚染などの現在の傾向が続けば、100年以内に地球上の成長は限界に達する」と警鐘を鳴らした。人間、地球および繁栄のための行動計画として宣

言および目標が掲げられ、この目標が、ミレニアム開発目標 (MDGs) の後継であり、現在は、17の目標と169のターゲットからなる「持続可能な開発目標 (SDGs)」として掲げられている。宇宙からの環境変動の計測や観測が、陸域生態系や人間の健康影響評価に利用され、ワンヘルス・ワンワールドの枠組みのなかで、どのような人間社会を目指し、行動変容に結びつけていくか、実行力が問われる時代に来ていると言える。

参考文献

- 1) 「ブリタニカ国際年鑑2020」, 特別リポート, 竹内渉: “世界で絶えない大規模森林火災”, ブリタニカ・ジャパン (2020)
- 2) P. Misra, M. Takigawa, P. Khatri, S. K. Dhaka, A. P. Dimri, K. Yamaji, M. Kajino, W. Takeuchi, R. Imasu, K. Nitta, P. K. Patra and S. Hayashida: “Nitrogen oxides concentration and emission change detection during COVID-19 restrictions in North India”, Scientific Reports, Vol. 11 (9800) (2021)
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-87673-2>
- 3) P. Misra, R. Imasu, S. Hayashida, A. A. Arbain, R. Avtar and W. Takeuchi: “Mapping Brick Kilns to Support Environmental Impact Studies around Delhi Using Sentinel-2”, ISPRS Int. J. Geo-Inf., Vol. 9(9), p. 544(2020)
<https://doi.org/10.3390/ijgi9090544>