

地球規模の社会課題解決と 企業経営に貢献するDX 衛星データの活用を例に



森 裕和



岸 浩稔

CONTENTS

- I 国際的な社会課題解決への要求の高まり
- II DXが実現する人間活動の可視化
- III テクノロジーを活用したSDGsへの貢献
- IV アナリティクスとの融合が実現する衛星データのフロンティア
- V NRIと大学で実施した衛星データを活用したSDGsへの貢献に関する研究
- VI 企業経営に求められるSDGsへの貢献

要約

- 1 企業活動において、カーボンニュートラルの実現や貧困の解決、多様性への配慮や人権問題の解決、サステナビリティの担保、感染症への対策など、地球規模の社会課題解決に向けた貢献（SDGsの実現に向けた行動）が強く求められている。
- 2 センサー開発やデータの分析といったデジタル技術によるDX（デジタルトランスフォーメーション）時代の到来によって、人間が関与する経済・社会活動の変化をより正確に把握できるようになった。SDGsの実現にも活用されている。
- 3 一つのテクノロジーとして、人工衛星より地球を観測する画像データやスマートフォンなどで取得するGPSなどの測位データがある。これらは、社会経済活動を、広域に、均質に、周期的に把握することができ、企業活動を通じた環境や社会への貢献や、社会課題の解決に資するメッセージの発信につなげていくことができる。
- 4 野村総合研究所（NRI）とアカデミアの専門家で実施した研究では、国土の均衡な発展を支援するためのアプローチとして、衛星データがマクロ経済指標を代替・補完できる可能性を示した。アカデミアやシンクタンクがパートナーとなり、企業の社会的責任を果たす取り組みを推進し、社会課題の解決を加速させていく。

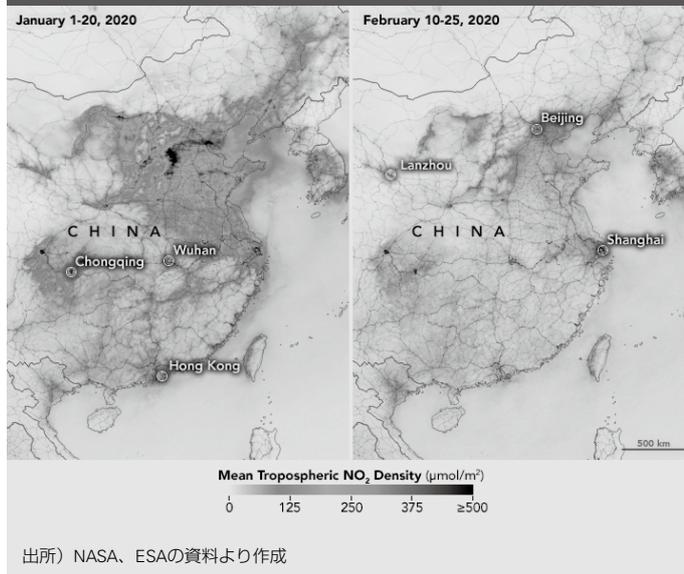
I 国際的な社会課題解決への要求の高まり

近年、国連の掲げるSDGsや、パリ協定の長期ビジョンに対応する各国の具体的な戦略が明らかになってきている。異例の最高気温が各地で更新され、スコールなどの突発的な降雨や積雪が頻出するなど、本来、見られない気象現象が各地で観測されており、明らかに感じ取れるほどの環境変化が起きている。

一方、2019年末から猛威を振るっている新型コロナウイルスの影響で、各国がロックダウンなどの移動制限や外出に対する規制を長期にわたって実施したことにより、自然環境に一時的に良い影響が及ぼされたことがさまざまな研究機関の発表や個人のSNSなどによる発信で明らかになった。地域によっては頻繁に観測されていた視界が悪くなるようなスモッグが見られなくなり、観光地の湖畔や川の水が日常的に濁っていたところが完全に澄んでしまったケースなどが各種メディアで取り上げられた。インドのガンジス川に至っては、長年、インド政府が何億米ドルも投入してクリーンアップ活動を進めても成果が出ていなかったところ、ロックダウンの影響で急激に水がきれいになったと報じられた^{注1}。

米国と欧州の宇宙機関であるNASA (National Aeronautics and Space Administration: アメリカ航空宇宙局) やESA (European Space Agency: 欧州宇宙機構) らは、数十年前から継続的に温室効果ガス (GHG: GreenHouse Gas 二酸化炭素や窒素酸化物) を宇宙から計測しており、ロックダウン直後に地域によってはGHGの総量が70~90%低下しているという観測結果も出していた^{注2}

図1 2020年の1月と2月に観測された中国の上空大気に含まれる窒素酸化物の計測結果



(図1)。

日常的に観測される悪影響がさまざまなメディアを通じて隅々まで浸透し、スウェーデンの18歳の少女グレタ・トゥーンベリ氏のような社会活動家の動きもあり、社会的圧力から各国も20年以降にそれまで掲げていた目標を大幅に修正し、より高い目標値を設定し、前倒しで従来の目標設定を発表し始め、今まで目標設定していなかった国も目標を開示始めている。表1に主要な国のGHG排出削減目標を示す。20年以降になって、ドイツや日本など多くの国で目標の前倒しを発表し、中国は21年に入り、突如、60年にカーボンニュートラルを達成することを対外的に発表した。これら各国政府の環境への対応は、NGOや企業や個人の取り組みと比べて遅れていると批評されることも多い。

サーキュラーエコノミーやカーボンニュートラル、海洋プラスチック問題は、NGO法人や個人のプロフェッショナルによる発信が

表1 2021年5月時点で主要国の発表しているGHG（温室効果ガス）排出関連の中期～長期目標値

定量目標	日本	中国	米国	EU	英国	インド
【中期目標】 2030年 温暖化ガス 削減目標	46% 削減 (2013年比)	65%* 削減 (2005年比)	50～52% 削減 (2005年比)	55% 削減 (1990年比)	68% 削減 (1990年比)	30-35%* 削減 (2005年比)
【長期目標】 2050年 温暖化ガス 削減目標	カーボン ニュートラル 達成	2060年*に カーボン ニュートラル 達成	カーボン ニュートラル 達成	80～95% 削減 (1990年比)	80%以上 削減 (1990年比)	カーボン ニュートラル 達成 (議論中)

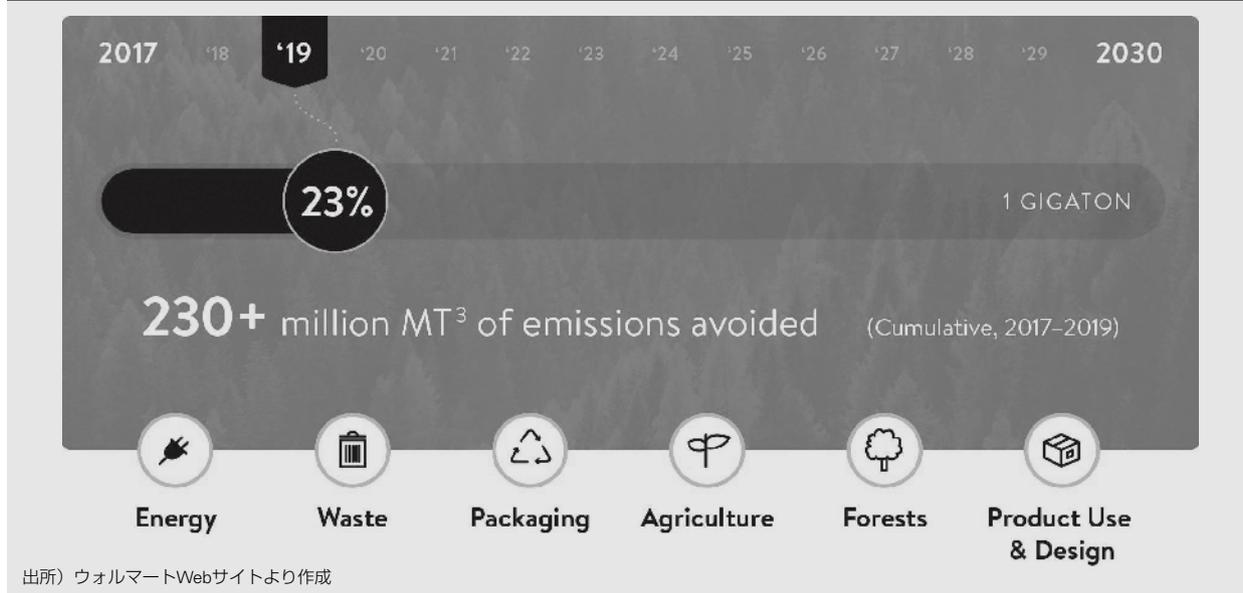
※GDP当たりCO₂排出量
注) 表の値は2021年5月時点で公開されている目標
出所) 各種公開資料を基に作成

社会問題化する契機となることが多い。たとえば、海洋プラスチック問題に関しては、海洋清掃を行うプロダイバー団体や海洋愛好家がウミガメなどの海洋生物へのプラスチックが与える悪影響を提起したことによって注目されることになった。その後、人類が自然と調和して生きられる未来を目指し、約100カ国で活動している環境保全団体であるWorld Wildlife Fundは、海洋生物を保護するイニチアチブを設立し³、世界最大のスキューバダイビング団体のPADIも1992年から「Project AWARE」という海洋生物保護のためのプロジェクトを運営するに至っている。Project AWAREでは、プラスチック製のロープや糸などに絡まって発見された海洋生物の写真を共有して社会を啓蒙しており、海洋ごみ回収のイベントを世界各地で行い、ショップや個人がごみ回収を行ったレポートをプラットフォーム上でまとめている⁴。近年、話題に上がるエシカル（Ethical）消費やサーキュラー消費についても、NGO法人がドライバーになり、一部Loopなど容器を使用しない小売店が話題を呼び、トレンドにつながっている。

先駆的な大企業は、NGO法人や個人の動きをいち早くキャッチし、政府に先んじて地球規模の社会問題への対策を講じてきた。また、環境への対応という点が株主・消費者へ好印象を与え、企業価値の向上になることに気づき、さまざまな企業が二酸化炭素排出量などの削減をはじめ、前述したサーキュラーエコノミーやカーボンニュートラル、海洋プラスチック問題への取り組みをCSRレポートなどによりアピールするようになってきていた。そうした取り組みをてこにして、アグレッシブに環境問題対応に踏み切った例も近年は多く見られるようになった。

Appleは以前から、自社の消費電力を100%再生可能エネルギーに切り替え済みで、自社製品の完全リサイクル・サーキュラー化にも踏み出していたが、2020年7月にさらに踏み込んで、30年までにサプライチェーン全体におけるCO₂ネット排出量をゼロにすると発表した⁵。通常、サプライチェーンにおけるGHG排出量は3つに分類されることが多く、直接排出量、間接排出量、それ以外の排出量とそれぞれScope 1～3に分類されている。Appleの宣言はScope 3まで含むもので

図2 ウォルマートが運営するプロジェクトギガトンの2019年時点の達成度（2019年時点で目標の23%が達成されている）



あり、この手の宣言としては世界初の事例となっている。

売上高世界最大の米大手スーパーマーケットであるウォルマートも「プロジェクトギガトン」^{※6}を17年に開始しており、ウォルマートの取引先と連携して30年までに合計1ギガトン（10億トン）のGHG排出量を削減するという目標を掲げている（図2）。21年6月時点で、3Mやコカ・コーラなど大手から中小企業まで幅広く3150社以上のサプライヤーが同プロジェクトに参画し、17年比で目標値10ギガトンの40%程度に当たる約4ギガトン分を削減達成している。

II DXが実現する 人間活動の可視化

これらのSDGsに関連する達成目標の設定とその実現に向けた要求の高まりは、企業の経営に大きな圧力を与えている。パリ協定に

て発せられたカーボンニュートラルは、欧州をはじめ地球規模でGHG削減への数値目標を求め、自動車のEV化、再生エネルギーへの転換などを加速させている。各企業はいつまでにどの程度の削減を実現するかを提示し、それが企業の社会的責任として問われている。

しかしながら、誰がどこから排出したGHGを、いつどうやってどの程度削減したのか、その計測と評価の手法は確立されておらず、各国・各社の示す数値を比較・検証することは難しい。ガイドラインとして算定方法は示されており、ある活動における排出係数に活動量を乗ずる形が基本的なアプローチである。たとえば自動車1台が1km走った場合（活動量）に、CO₂がどれだけ排出されるか（排出係数）というパラメータを積み上げるのである。そこでは、ある程度の技術的な計測の仕様を定めているが、どういった分類で活動を定義するか、活動量そのものをど

のように計測するかといった手法を世界的に統一することは困難である。

人間活動とそれによる環境への影響を横比較することは容易ではない。経済・社会活動を定量的に把握する方法はさまざまだが、国勢調査のように全数に直接聞きたいことを聴取できるケースはまれである。サンプリング調査として限られた情報から代表性を示していくことになるが、そもそも聴取して把握できないものは、何かしらの論理を持って推計（フェルミ推定）するほかない。GHGの排出量についても、排出源ごとにどれだけ排出しているかを全数で計測することは不可能であり、統計値として推計することになる。

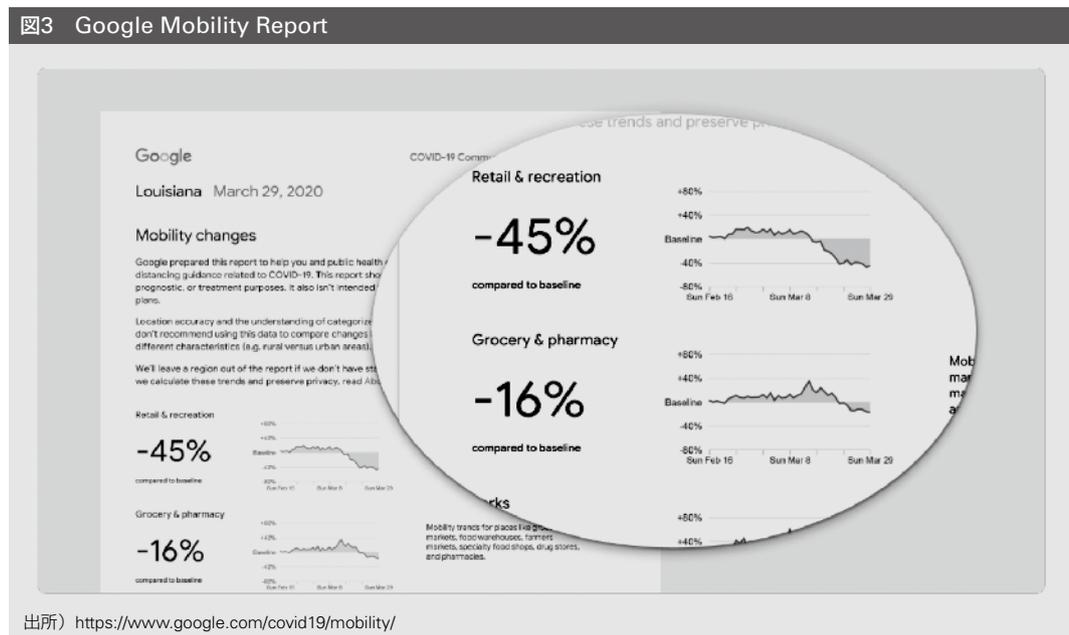
一方で、昨今のセンサー技術の発展やIT（計算機環境やアルゴリズム）の充実によって、人間活動を直接IoTセンサーなどで計測し、その動態をより精密で継続的に、即時的に把握することができるようになってきた。最も分かりやすいユースケースは、人流データによる都市の混雑度の計測であろう。コロナ禍による非対面と密回避の要求の高まりに

よって、主要繁華街などの人出、すなわち混雑の様子が時間単位で可視化されるようになった。個々人が持つ携帯電話に搭載されたGPSの記録を基に、混雑度をパラメータとして示しているのである。

これまでであれば、街中を歩く人に「今日はいつもと比べてどのくらいの人出ですか」と聴取してその平均を取ったり、ある特定のストリートで歩いている人をカウントして、その数値をその日の代表値として示したりしていた。それが、ほぼすべての人が有するスマートフォンや携帯電話に搭載されたGPSデータという、圧倒的なサンプルサイズによる情報量と、仕組み上は5分単位で継続的に計測される連続性から、人間活動をより正確に把握することができるようになったのである^{注7}。

さらにそのデータは、ある特定の地域のみならず、世界各国で計測でき、比較ができるものになっている。Googleではそれを世界各都市を対象として、混雑の様子をモビリティレポートとして逐次公開している（図3）。

図3 Google Mobility Report



Ⅲ テクノロジーを活用したSDGsへの貢献

このように、センサーやデジタル技術の急成長によるビッグデータの入手・分析に代表されるようなDX（デジタルトランスフォーメーション）時代の到来によって、人間が関与する経済・社会活動の変化をより正確に把握できるようになってきた。こうした技術を活用すれば、企業や業界が取り組んでいるSDGs、すなわち持続可能な社会への取り組みを、より正確に評価することが期待できる。そこで活躍する一つのテクノロジーが、人工衛星、すなわち地球観測による衛星データである。

衛星データには、広域性、周期性、均質性という3つの特徴がある。一度打ち上げられた人工衛星は、地球の周りの軌道を秒速約7.9km（時速約2万8800km）という地上では観測することのないスピードで周回している。搭載されているカメラ（センサー）によって地表を撮影・計測し、データとして地上に送信する。それを機体が壊れるまで継続する。すなわち、地球上のどこでも広域に、繰

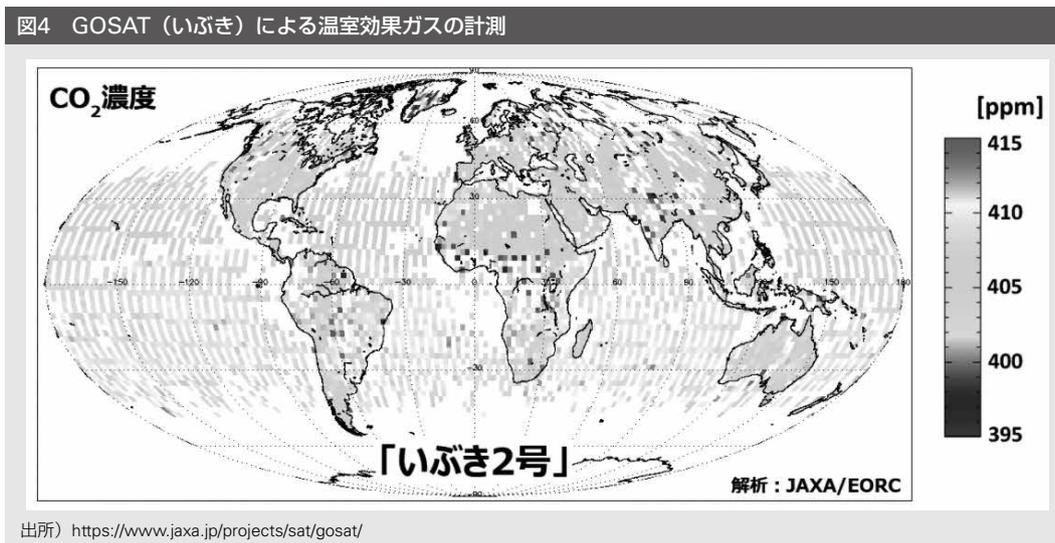
り返し周期的に、同じセンサーで均質に、計測をしているのである。

この特徴を活かして、たとえば、河川の氾濫や大雨による地すべりなどの災害があった際に、その箇所の災害以前の画像と比べてどの程度の被害があるかを把握したり、世界中の林野火災や野焼きの状況を迅速に把握し、対策の検討に活かしたり、森林のモニタリングによって違法伐採が行われていないかを把握したりするなど、防災や環境の領域でさまざまに活用されてきた。

SDGsという観点でも既に多くの貢献の実績がある。たとえば、REDD+^{注8}という森林減少・劣化とそれに伴うGHGの排出の減少を目指す国際的メカニズムにおいては、森林面積の把握や経年の増減、それに伴うCO₂吸収量の把握において、衛星データが活用されている。この枠組みは、排出量が少ない企業から余った排出枠を購入し、削減したと見なすことができるようにする、国や地域間の排出権取引における根拠として活用されており、信頼のおけるMRV（計測・報告・検証）の手法として研究が進められている。

また、GHGそのものを計測するGOSAT（い

図4 GOSAT（いぶき）による温室効果ガスの計測



ぶき) という人工衛星が日本の技術によって打ち上げられ、従来の地上観測では困難であった全球の均質な観測が実現できた(図4)。また、この観測データを取り込むことで、GHGの推定誤差をこれまでより50%以上低減できたことが成果として挙げられている。GOSATのプロジェクトは現在も継続されており、前述したREDD+や排出権取引の議論におけるキーテクノロジーの一つとされている。

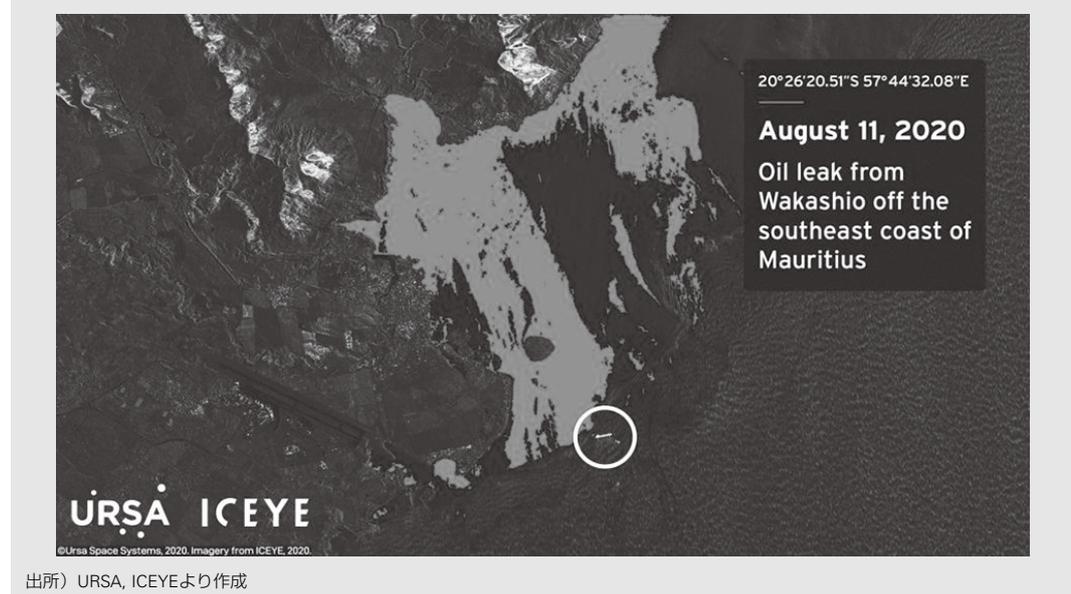
民間においてもSDGsに対応したソリューションは活況を呈している。衛星データや位置情報などのデータ解析プラットフォームとして業界をリードする米国のOrbital Insight社(以下、OI社)が数多くの事例をメディア媒体「Medium」で定期的で紹介しており(OI日本支社のスタッフにより、日本語でも更新されている^{注9)}、脱炭素、新型コロナウイルス、現代奴隷や乱伐など、SDGs関連トピックについて多数紹介されている。

大きなものだと、OI社がユニリーバとパートナーシップを組み、取り組んでいる、イ

ンドネシアにおけるサプライチェーンモニタリングが例として挙げられよう。ユニリーバのようなグローバル大企業は世界のさまざまなところから原材料を仕入れていることもあり、サプライチェーンの細部までモニタリングすることが困難という課題がある。それが故に、実際に児童労働や乱伐といった非合法手段を用いて生産された原材料を、知らずに仕入れてしまっているリスクも懸念されていた。こうした課題に対し、実際に調査員を派遣するという高コストな方法以外に具体的な対応策がなかったが、この取り組みでは、アプリなどのサードパーティ位置情報をトラックし、本来、仕入れ元となっていないところからの原材料が紛れ込んでいないかモニタリングしようと試みている。

民間の地球観測衛星オペレーターであり、軌道上にある運用衛星数としては最大の米国のPlanet社も、アカデミアレベルの論文で海洋マイクロプラスチックの観測実証結果を発表した。衛星データから海洋プラスチックを検出し、その発生源を特定しようという取り

図5 モーリシャス沖で座礁した「わかしお」から漏れ出た重油をSARデータの解析により抽出した例



組みである。日本が絡んでいる例としては、2020年7月にモーリシャス沖で発生した、日本企業が運航していたばら積み貨物船の座礁による重油漏れや、21年3月に発生した日本企業が保有していたコンテナ船のスエズ運河内での座礁事件が挙げられる。

ともに与える経済的損傷が激しく、空間的に影響の範囲が広いため、衛星による観測データが対策の検討に活用された。近年のトレンドは多数の衛星を打ち上げるコンステレーション網の構築にあり、観測頻度が高く、災害などへの即応性に優れる。過去データも含め、イベント前後の定量的比較も可能とし、かつ時系列に影響の拡大があるかモニタリングも可能である。近年は雲を透過して観測が可能なSAR（合成開口レーダー）衛星についても民間事業者の進出が進んでおり、課題解決の貢献に寄与している（図5）。

IV アナリティクスとの 融合が実現する 衛星データのフロンティア

軍事技術を出自とする人工衛星による地球観測は、1972年に初めて平和利用を目的に打ち上げられたランドサット1号（米国衛星Landsat-1）を皮切りに多くのデータが蓄積され、広く活用されてきた。毎日、当たり前のように天気予報で雲の様子を把握できるのも、長い歴史の蓄積が実現した便益である。

当初は、人工衛星の打ち上げと宇宙からの観測という技術の特殊性や経済合理性から、蓄積・利用できるデータの種類や量は決して十分ではなかった。しかし近年は、民間による小型衛星や打ち上げロケットの開発や、打

ち上げおよび運営によってコストが劇的に低下し、また、それに伴いデータはより高解像度に高頻度に、そしてより安価に取得できるようになった。ユースケースも防災や環境のみならず、車両台数のカウントや都市化の状況の把握、農業の高度化や建設・開発の現場状況の把握など、さまざまな人間活動の把握に資するようなデータと実績が整ってきた。それによって、先のGPSデータによる混雑度の把握と併せて、画像情報や位置情報の計測によって、世の中の人間活動をより精緻に把握できるようになってきたのである。

衛星データ利活用の近年のトレンドは、過去の状況の把握（informationとしてのデータ利用）にとどまらず、需要の把握や経済指標の代替といった、現在の行動を変えるに値する将来予測（intelligenceとしてのデータ利用）へと変化していくことにある。そうになると自然と、防災や環境といった官需を中心としたマーケットから、一・二・三次産業といった民間分野へ広がっていき、市場が大きく拡大していく。

近年の衛星データの最も有名なユースケースに、世界中のオイルタンクの画像から備蓄量を推定し、原油の先物指標として活用していた例がある。具体的には、単純にオイルタンクの様子を見るのではなく、それをマクロ経済における先行指標の予測データとし、ヘッジファンドなどの金融機関をはじめとするステークホルダーの行動を変えるintelligenceとして提供をしている。ここでは、画像データを準リアルタイムで分析し、先行指標化するAIの活用が不可欠であり、そのため世界中の時系列の画像というビッグデータを分析する情報基盤も必要になる。第三次

AIブームとも呼ばれて久しい昨今であるが、アナリティクス環境の充実は、ビッグデータである衛星データの解析とintelligenceの抽出を実現するキーテクノロジーとなっている。

衛星データを収集し、そのデータ解析を生業とするプラットフォーム事業者は、その時流を見据えたサービスの展開をしている。前述した衛星データ・位置情報のプラットフォームであるOI社では、たとえば衛星画像から自動車を判別しカウントすることで小売店舗の売上を予測し、そのデータを提供するなど、自社のクラウド環境上でさまざまなデータを解析し、intelligenceとして加工したデータを販売するサービスを提供している。

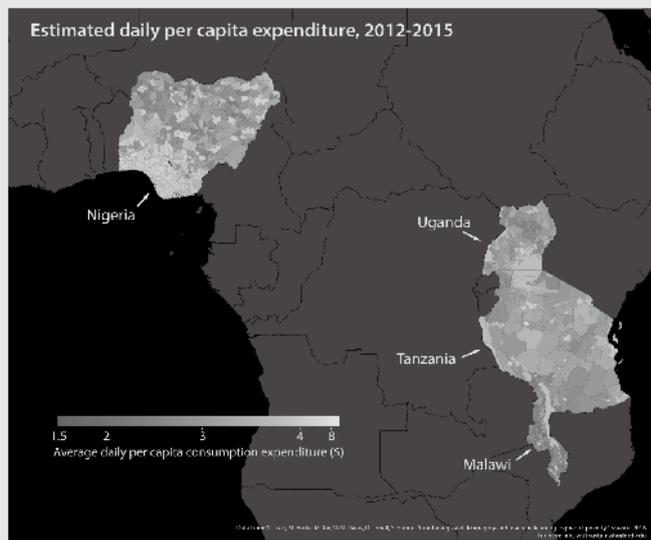
また、SDGsへの貢献に資するソリューションも提供している。携帯電話のプロープ情報を基に位置情報をトラッキングし、そのデータを基にサプライチェーンの全体の流れを予測するサービスでは、強制労働問題が疑われるウイグル自治区で生産された綿花がどこ

で加工・消費されているかについて予測を行う事例を示している。衛星・位置情報をはじめとするテクノロジーが実現した計測データを、アナリティクスによる予測手法を用いて経済・社会活動を可視化することで、社会的な議論を、ファクトを基に喚起するものである。

研究ベースではさらに多くの事例が報告されている。たとえば、米国防総省、NASA、NVIDIAらの支援によりスタンフォード大学が行った研究¹⁰では、衛星データと機械学習を活用し、アフリカの貧困状況を面的に可視化している。SDGsで提唱される絶対的貧困の解消に向け、図6で示される細やかな行政区界について、1日の生活における消費額（世界銀行では1日当たり1.9ドルが貧困のラインにあると定義している）を、衛星データと各種統計データより作成した予測モデルで算出している。衛星データの「面的で均質」である特徴を活かし、データアナリティクスによってアフリカの地域の経済環境を可視化したのである。

具体的には、ナイジェリア、タンザニア、ウガンダ、マラウイの4カ国について、昼と夜の衛星画像を基に、道路の舗装や都市域の広がり、夜間の灯りといった情報を収集し、それを家計所得の予測に用いている。SDGsでは2030年に貧困を解消するという目標があるが、アフリカ諸国では数年にわたって統計調査が実施されていない国や地域もあり、貧困の状況を定量的に把握すること自体が困難な状況にある。紛争などの政治的不安定、調査にかかる費用面などで実施が困難な中、衛星データというテクノロジーを活用することで、より確実に安価に、広い範囲の貧困をモ

図6 国防総省、NASA、NVIDIAの支援によりスタンフォード大学の研究者が行った衛星データを活用したアフリカの1人当たりの消費量推算研究



出所) スタンフォード大学、NVIDIA、国防総省ら

ニタリングできるとしている。

V NRIと大学で実施した 衛星データを活用した SDGsへの貢献に関する研究

著者らは、宇宙ビジネスやDXにかかわるコンサルタントとして市場や社会のトレンドを発信する一方で、実際の衛星データを分析し、地球規模の課題解決への貢献を目指す研究にも取り組んでいる。本章では、異なる強みを持つ4組織に所属する専門家が一丸となり、ボランティアベースで自主研究を進行した事例を紹介する。

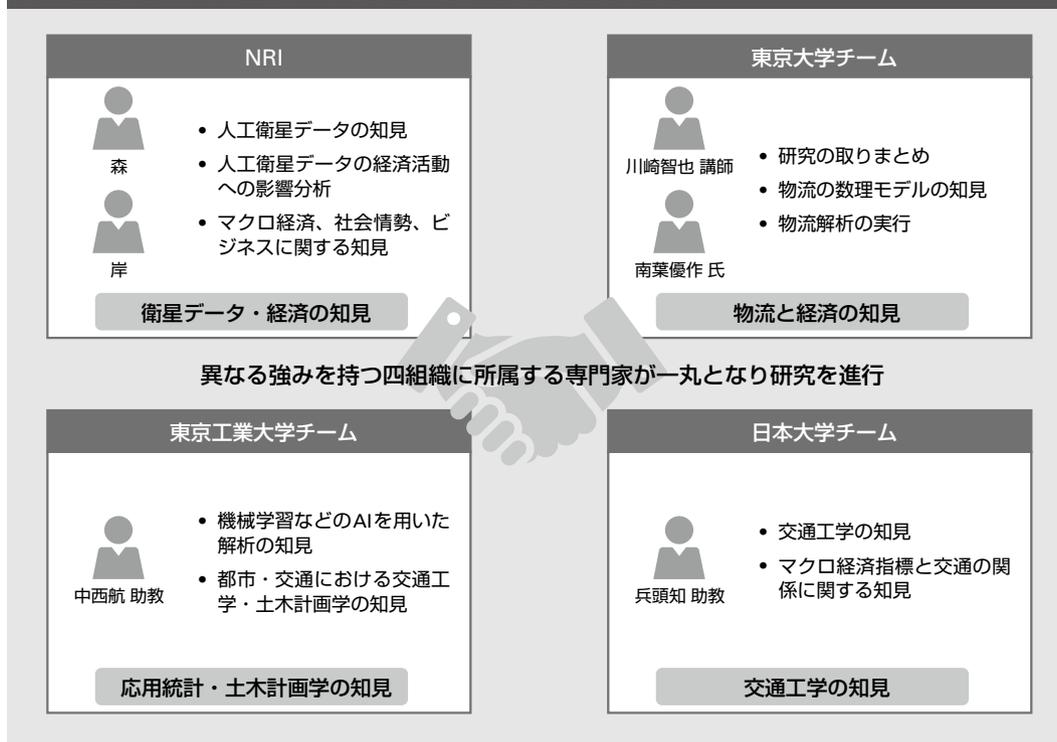
衛星データの選択や解析、ビジネス展開やSDGs関連市場ニーズの知見を野村総合研究所（NRI）から、物流や交通の数理モデルやそれらのマクロ経済への影響や計画学に関する知見を東京大学、東京工業大学、日本大学

の先生方から出し合い、議論を進めた（図7）。ここでは、GRP（Gross Regional Product：地域総生産）のような地域や国ごとの経済統計指標が十分に整備されていないアフリカなどの発展途上国について、均衡な発展を支援するための政策的意思決定に資する情報が不足している点に着目した。そこで、都市や地域の発展に重要な役割を果たす貨物の流通について、数理モデルの高度化に衛星データが活用できないかを論点とし、研究に取り組んだ。

1 均衡な発展に向けた衛星データの活用と本研究の位置付け

マクロの経済状況を把握する衛星データとして夜間光がある。GRPや生活・インフラの発達度を地球全球で推計するという研究が取り組まれてきているが、夜間光を湖など非居住区の面積分を除いて再集計し、現地のGRP

図7 物流数理モデルと衛星データを活用した経済活動予測研究の体制



データと比較して、機械学習などで相関性を算出した後に夜間光データからGRP推計することで、夜間光をマクロ経済指標の直接紐づける研究が多い。

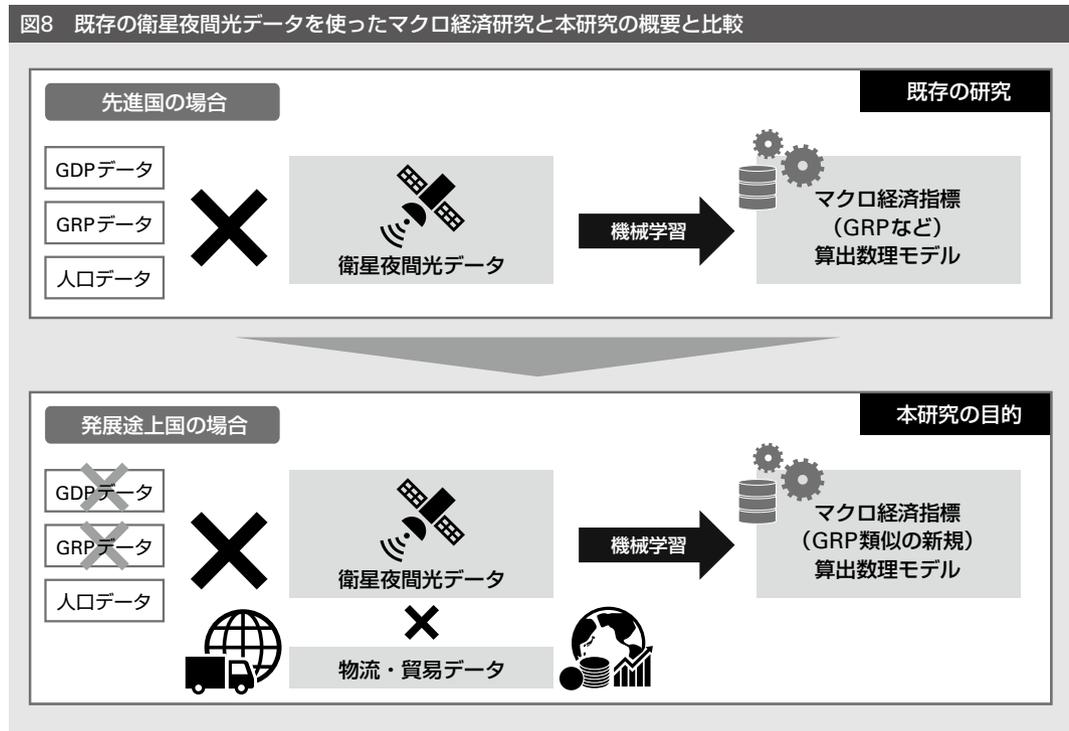
ここでは、先進国などのそもそもGRPデータがある地域でしかモデルを構築できないという課題がある。アフリカなどの発展途上国では、最新のマクロ経済データが2009年の富裕層人口統計のみということもある。納税などもしっかり管理されていないこともあり、所得や消費の経済の状況を把握することが難しい。

衛星から計測した夜間光はあくまで夜間の明るさを示しているため、実際の経済状況を把握するには正しいとされる統計データとの関係性を見る必要があるが、途上国ではその統計データの入手が困難である。そこで本研究では、国際的にある程度の網羅性を有し、データの整備が進んでいる貿易・物流のデータを基にした、貨物の流通量予測モデルと衛

星データを活用することで、地域レベルでの経済指標を推計することを目指している。まずその一歩として、既存の統計データと比べて衛星データがどの程度、物流モデルの向上に寄与できるかを検証した（図8）。

具体的には、既に貿易関連の物流統計データやGRPなど地域レベルの経済指標が存在する日本を対象に、都道府県単位で貨物量の推計を試みた。貨物量から経済状況を把握することは既にある程度、検証が進んでおり、貨物量をより精緻に予測できるかがチャレンジとなっている。ここで、国によって整備にはらつきがあるGRPに代替する指標として衛星データが利用できるかを検証していった。交通量や物流量を予測するモデルとして一般的な「四段階推定法」に従い、インプットデータとして重要になる発生・集中量、すなわち場所ごとに貨物などが発生もしくは流入する量について、夜間光を用いて推定する手法を試みた。四段階推定法の詳細は本稿では割愛

図8 既存の衛星夜間光データを使ったマクロ経済研究と本研究の概要と比較



する。推定には、Elastic Netという機械学習（Ridge回帰とLasso回帰を組み合わせたもの）を用いて、衛星データによって発生・集中量をどの程度の再現ができるかを検証した。

2 研究のフローと解析手法

発生集中交通量を推定するモデルを作成する上で使った衛星夜間光データは、NASAとNOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration：アメリカ海洋大気庁）が共同で打ち上げたSuomi NPPという衛星に搭載された、VIIRSという近赤外線とDNBという補正データからつくられたものである。具体的には、Google Earth Engineというクラウド上の衛星データ解析開発者ツール上にある「VIIRS Nighttime Day/Night Band Composites Version 1」^{注11}という各地の夜光量のデータを基に解析した。

まず都道府県ごとに、月単位の典型的な夜間光の単純な総光量や、居住区のみ総光量を計算した。次に社会経済指標として、192個の都道府県別統計データを総務省統計局の「社会人口統計体系」より取得した。その上で、これらの統計データと衛星データから、物流量の発生集中推定モデルの作成を試みた。検証として、それぞれの場所に対応する物流量を「全国貨物純流動調査」や「全国輸出入コンテナ貨物流動調査」から取得し、一般にコンテナで輸送され得る73品目のうち40品目を対象にした上で、精度を検証した（図9）。

3 研究から見てきたこと

図10に、各都道府県における貨物の発生集中量の予測結果を示す。横軸が実際の都道府県ごとの年間貨物発生集中量、縦軸が衛星データやその他統計データを用いて機械学習に

図9 物流数理モデルと衛星データを活用した経済活動予測研究のフロー

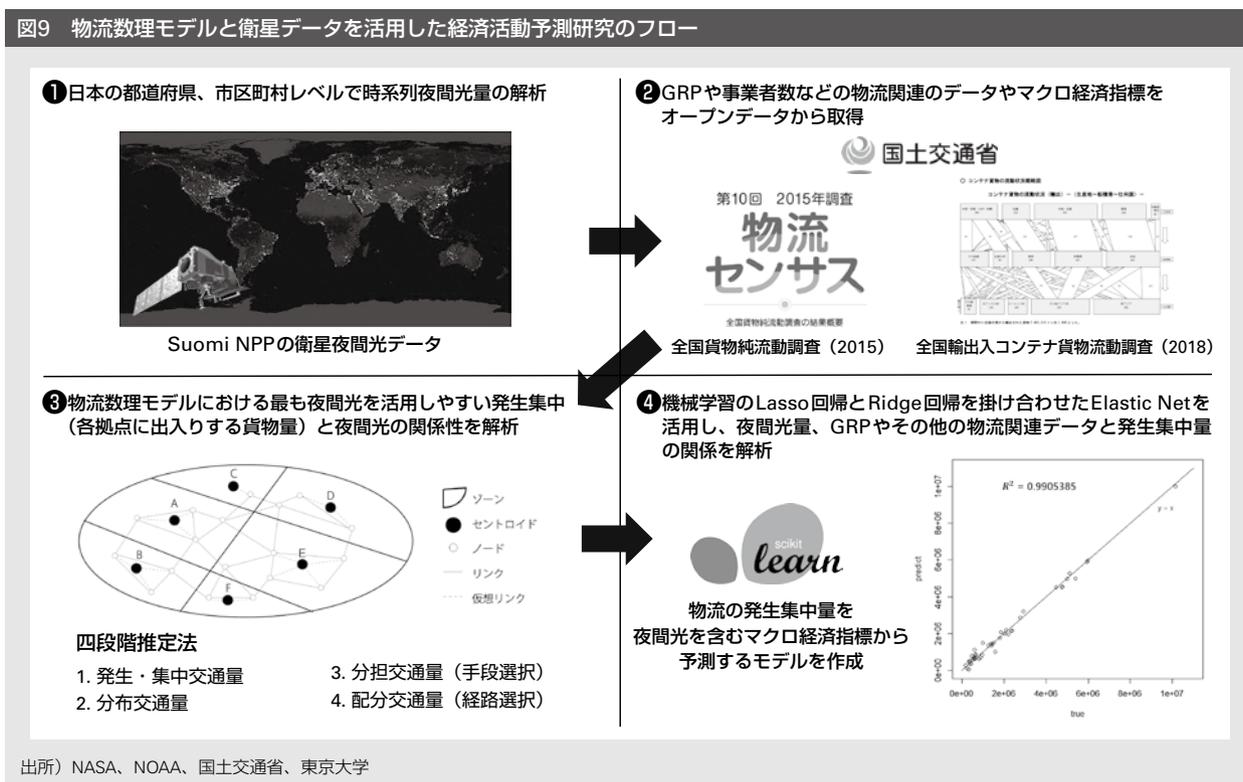
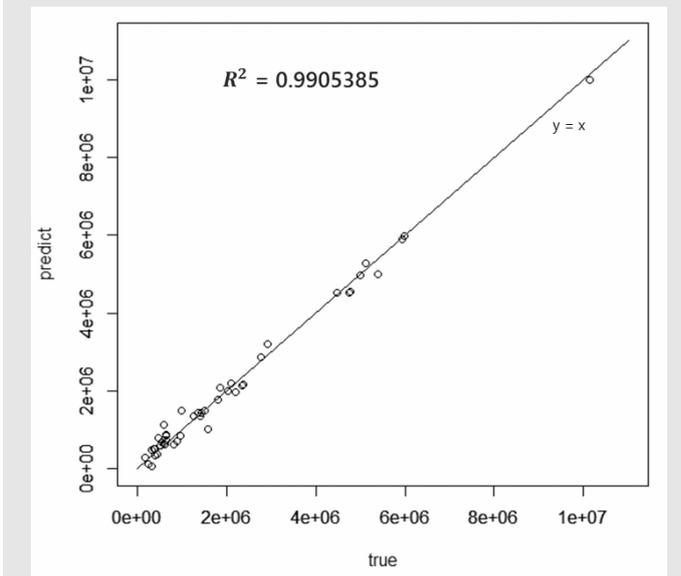


図10 各都道府県における貨物の発生集中量の予測結果



出所) 東京大学 川崎智也講師、南葉優作氏

より予測された年間貨物発生集中量である。決定係数0.99と非常に高い値が出ており、衛星をはじめとする統計データを用いたモデリングによって、貨物の発生集中を高い精度で予測できることが示された。

ここで用いられている統計データには、製造業の出荷金額や売上金額という貨物の発生集中に特に寄与するであろうデータが含まれており、そうした変数が大きく寄与しているため、衛星データが最も大きな寄与変数ではない。しかし、総人口や県内総生産（GRP）といったデータよりも、衛星による夜光間の方が数理モデルにおいてはより高い寄与を示していた。業種ごとの出荷金額などの正確な統計データをアフリカなどの途上国で入手することは困難であり、現状では人口やGRPのデータを利用して発生集中を予測している。ここで、世界どこでも均質に取得できる衛星データが、一般に入手可能で利用される人口

やGRPを代替、もしくはより精緻な予測に資するものであることが示されたのである。

研究を担当した東京大学の川崎智也講師からは、「適切な国土開発計画の策定には、まず現状を適切に把握することが肝要である。しかし開発途上国など大規模調査が予算的、技術的に困難な国・地域が多いのが現状である。この技術で『誰でも入手可能な』夜間光データを用いることにより、貨物がどこからどれだけ発生・集中するかを高精度で把握することができ、国土開発計画の重要な一つである物流関連の政策立案や流通・物流企業の経営判断をエビデンス・ベースで実施することが可能となる。また、貨物の発生集中量はGDP・GRPといったマクロ経済指標の代用となり得る潜在性も秘めており、今後のさらなる発展が期待できる指標である」との考察を得ている。

また、衛星データの分析を通じて得られた技術的な知見もある。物流量の推定で使う夜間光の累積方法としては、単純な範囲内の総和ではなく、単位面積当たりの平均光量を可住地面積で掛け合わせたものを地域ごとの夜間光量とすることで、物流における発生集中量の推定に近づくことが分かった。また、東北の山間部や北海道など雪が多い地域がある場合は、光量が実際よりも多く出てしまい、12月～2月のデータは異常値となるので除いた方がよいことも検証できた。そのほかにも、夜間光の量は発生量よりも集中量に依存することが定量的に算出され、これによって、夜間光の多い地域が消費の中心となっているということの確認にもなった。

詳細な技術・科学的な発見は割愛するが、都道府県程度の密集度と大きさの地域を見る

場合、光量の低い地域では、ある閾値にて非居住区として除外すると発生集中量の精度をより高く推測できることが分かった。こうした衛星データの特徴は、実際にデータを分析して考察してみなければ得ることができない。できること、できないことの見立てをして活用していくには、実際にデータを触っていなければ分からないのである。

VI 企業経営に求められる SDGsへの貢献

昨今、カーボンニュートラルへの貢献を筆頭に、SDGsへの取り組みに対して企業は積極的に関与をしようとしている。SDGsの前身ともいえるミレニアム開発目標（MDGs）では、政府や国際機関といった公共セクターによるODAなどの投資を資本としていたが、SDGsでは民間セクターに対し、課題解決のための創造性とイノベーションを求めるという考え方が根本にある。

実際に、社会課題の解決につながる商品やサービスへのニーズは高まっている上、企業価値の毀損というリスクにも鑑み、社会的責任への貢献が直接的に消費者の購買価値観と連動することで、結果的に消費者の便益に還元される仕組みへと経済はシフトしてきている。SDGsは企業のビジネス機会として認識されつつあるのである。極端に言えば、SDGsに取り組まないことは企業にとってリスクともいえ、社会課題解決への貢献を何かしらの形で示すことに対する需要が高まっている。

金融市場では、ESG投資への注目が高まっている。ESG投資とは財務的な要素に加え、

非財務的な要素であるESG（環境、社会、ガバナンス）を考慮する投資のことであり、年金基金などの大きな資産を超長期で運用する機関投資家を中心に、企業経営のサステナビリティを評価するという概念が普及し、気候変動などを念頭に置いた長期的なリスクマネジメントや、企業の新たな収益創出の機会を評価するベンチマークとして、国連持続可能な開発目標（SDGs）と併せて注目されている。既にグローバルでは、企業のESG投資額は欧米を中心に31兆ドル（2018年時点）を超えており、日本を含むアジアではまだ萌芽的であるが、今後、投資が加速すると予測されている。企業は、消費者への要求に対しても投資家への期待に対しても、SDGsへの貢献によって応えなければいけない状況になりつつある。

衛星データや位置情報データをはじめとしたテクノロジードリブンの人間活動の可視化は、さまざまな企業のビジネス領域において、環境や社会の課題に対する個社や業界の貢献を可視化できる可能性を持つ。たとえば製紙業界であれば、森林の維持管理の成果を定量的に示すことができるだろうし、エネルギー業界では自社が有する環境資源について、美しい衛星やドローンによる空撮画像を季節ごとに示すだけでも、消費者や投資家への訴求につながるだろう。さらにアナリティクスとの融合を考えれば、カーボンニュートラルへの定量的な貢献を算出したり、グローバルな貧困問題の解決に資する貢献を示したり、均衡な発展を支援するために物流網を構築していくという戦略の提示に活用したりと、さまざまなアプローチが考えられる。衛星データ・位置情報データは、広域に・周期

的に・均質に、社会・経済活動、すなわち企業活動を可視化するテクノロジーとして、他を以て代え難い優位性を持つテクノロジーである。

前述したNRIと大学との共同研究では、社会の発展を支える物流モデルの精度向上に衛星データが寄与することを示した。統計データの整った日本を対象にした研究において、地域の経済指標を示すGRPよりも衛星データを利用する方が、物流量の推定において精度を高めることができるとの示唆があったのである。アフリカの貧困の可視化と同様に、継続して統計調査を実施することが困難であったり、統計データへの信頼性が担保できなかったりするような地域では、宇宙からの観測というテクノロジーは大きな可能性を秘めている。それをアナリティクスと融合することで、社会経済の指標を代替または推測するようなことができれば、世界や地域の課題解決に資する情報を提供することができる。

難しいのは、衛星データや位置情報データの取り扱いはやや難易度が高く、できることとできないことの見極めをするまでの技術的な理解に時間を要することがある。さらに、AIを用いたデータ解析では、その結果を理解し、活用できるものにしていくことも簡単ではない。物流モデルの改善に衛星データが活用できるのではないか、という着眼そのものを生み出すことが簡単ではなく、そのデータを機械学習を用いて加工・分析するにあたっては、的確な考察ができなければ社会に提示できるものにはなっていない。

今回の研究では、最終的に貨物発生集中量の予測を決定係数0.99という高い精度で予測するモデルができ上がったが、国内の都道府

県レベルを対象に既存のデータで分析しているものを、AIのモデルで相関が高くなるように合わせていっているものであり、それがほかの地域や時点で同様に活用できることは証明できていない。しかし、国土の均衡な発展に向けた基礎データとして、統計が整った日本でさえ既存の統計データより衛星データの方が正確なモデルを構築できるということは、おそらく、ほかの地域に転用した際にも有用な情報として活用できるのではないかと推測はできる。

一方で、衛星データ分析に長けていても、活用し得るニーズが見えてこなければ日の目を見ることがない。ここにあるニーズとシーズの乖離を擦り合わせていくことは衛星データ業界のチャレンジであり、ポテンシャルであるともいえる。今回の共同研究は、物流をテーマに衛星データの活用可能性を探索し、一つのアプローチを示した。SDGsはそのニーズの一つであり、さまざまな業界や個社において自社にかかわるSDGsのトピックが存在しており、その多くはまだまだ解決されていない困難な課題である。そうした課題の解決に向けて、アカデミアやシンクタンクがパートナーとなり、社会として、企業として、アプローチしていくことができるのではないかと考えている。今回の共同研究がその先鞭になれば幸いである。

注

- 1 <https://www.bbc.com/news/av/world-asia-india-52290522> (2021年6月8日にアクセス)
- 2 <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummets-over-china> (2021年6月8日にアクセス)

- 3 <https://www.worldwildlife.org/initiatives/oceans> (2021年6月8日にアクセス)
- 4 <https://www.padi.com/aware> (2021年6月8日にアクセス)
- 5 <https://www.apple.com/newsroom/2020/07/apple-commits-to-be-100-percent-carbon-neutral-for-its-supply-chain-and-products-by-2030/> (2021年6月8日にアクセス)
- 6 <https://www.walmartsustainabilityhub.com/climate/project-gigaton> (2021年6月8日にアクセス)
- 7 ユーザー自身がインストールする特定のアプリケーションについて、位置情報の活用を許諾している場合にデータの取得・活用が可能となっているため、携帯電話またスマートフォンを持っているすべての人のデータが収集されているわけではない
- 8 Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries (森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減)の略称
- 9 <https://orbital-insight-japan.medium.com/#>
- 10 <http://sustain.stanford.edu/predicting-poverty>
- 11 https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NOAA_VIIRS_DNB_MONTHLY_V1_VCMCFG#description

著者

森 裕和 (もりひろかず)

野村総合研究所 (NRI) CXコンサルティング部コンサルタント

英エディンバラ大学物理学部理論宇宙物理学科首席卒業

専門はグローバルDX戦略、宇宙ビジネスにおける事業戦略・新事業創出、人工衛星データをはじめとするビッグデータのAIを活用したアナリティクス・コンサルティング

岸 浩稔 (きしひろとし)

野村総合研究所 (NRI) ICT・メディアコンサルティング部上級コンサルタント

東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻博士課程修了 (工学博士: リモートセンシング・GIS)

専門はテクノロジー起点のイノベーション創出に関する事業戦略・実行支援