

宇宙航空研究開発機構 受託業務

2023 年度地球観測衛星による  
グリーン・デジタル分野にかかる動向調査

成果報告書

別紙

2024 年 3 月

一般社団法人 日本リモートセンシング学会

## 1. はじめに

宇宙航空研究開発機構(JAXA)では地球観測衛星の将来計画の検討を行っているところであるが、世界における地球観測衛星の将来計画や商業衛星の動向をふまえてベンチマークした上での将来計画の立案が重要である。そのため、本業務では世界の地球観測衛星にかかる、データ利用に関しグリーン・デジタル分野における動向を調査することを目的とした。

具体的には衛星地球観測コンソーシアム(CONSEO)の提言を参考に、新しい成長分野であるグリーンやデジタルにかかる衛星データの活用の可能性を調査するとともに、データ利用・事業化のモデルをまとめることとし、以下の2項目について作業を行った。

- ① 欧米におけるデジタルとグリーン分野の海外民間企業による衛星データ利用サービスの成功事例についてweb調査の結果をまとめた。なお調査対象企業の選定にあたっては特にスタートアップ企業に着目し、近年アクティビティが高く勢いのある企業でかつ、web上にプロダクトの詳細や使っている衛星データに関する記載のあるものを取り上げた。なおスタートアップ企業とは一般に呼ばれないLockheed Martin社、NVIDIA社、RHEA Groupの企業自体の紹介は割愛した。今回取り上げた企業を表1-1に示す。

表 1-1 web 調査の対象とした企業 (G: グリーン分野、D: デジタル分野)

分野	対象	社名	国	設立
G	GHG/炭素	GHGSat	カナダ	2011 年
G	GHG/炭素	Kayrros	フランス	2016 年
G	GHG/炭素	Everimpact	フランス	2016 年
G	GHG/炭素	Mantle Labs	英国	2016 年
G	GHG/炭素	Pachama	米国	2018 年
G	都市	Latitudo 40	イタリア	2017 年
G	都市	Lobelia Eart	スペイン	2020 年
D	都市	ASTERRA	イスラエル	2013 年
D	都市	Similarity	米国	2011 年
D	都市	Earth Intelligence	英国	2015 年
D	都市	Orbital Insight	米国	2013 年
D	都市	Wegaw	スイス	2016 年
D	都市	Creotech Instruments S.A	ポーランド	2008 年
D	健康/医療	siHealth	米国	2015 年
D	デジタルツイン/防災	OneConcern	米国	2015 年
D	デジタルツイン	Lockheed Martin	米国	1995 年合併
D	デジタルツイン	NVIDIA	米国	1993 年
D	デジタルツイン	RHEA Group	ベルギー	1992 年
D	デジタルツイン	CloudFerro	ポーランド	2015 年
D	農業	OneSoil	米国	2017 年
D	農業	LiveEO	ドイツ	2018 年
D	インフラストラクチャー	TRE ALTAMIRA	イタリア	1999/2000 年
D	インフラストラクチャー	3vGeomatics	カナダ	2007 年

- ② ①の調査結果をふまえ、デジタル分野、グリーン分野における企業のビジネスモデル、グローバル展開の分析・検討結果をまとめた。

また報告書の取りまとめにおいては CONSEO の「提言 衛星地球観測のデジタル分野及びグリーン分野における推進戦略に関する考え方」についてを参照した。

<https://earth.jaxa.jp/conseo/news/20240319-1/document01.pdf>

## 2. 本報告書について

本報告の構成は以下の通りである。

- 第1章 はじめに(業務の目的や項目など)
- 第2章 本報告書について(報告書の構成や担当者など)
- 第3章 グリーン分野の成功事例
- 第4章 デジタル分野の成功事例
- 第5章 デジタル分野、グリーン分野における企業のビジネスモデル、グローバル展開

本報告書の全体取りまとめと第1～2章、3.1～3.2節、4.2～4.3節、第5章は松永恒雄(日本リモートセンシング学会副会長、国立環境研究所)が、3.3～3.4節、4.1節、4.4節は押尾晴樹(日本リモートセンシング学会受託委員長、東京工業大学)が担当した。また必要に応じてデジタル分野、グリーン分野に詳しい学会員にヒアリングなどを行った。

### 3. グリーン分野の成功事例

本章ではグリーン分野における欧米の民間企業の成功事例についてまとめる。

#### 3.1 温室効果ガスの濃度観測

- 本節では衛星による温室効果ガス(Greenhouse gas、GHG)濃度観測に関する事例を取り上げる。この場合の「衛星からの濃度」は、特に断らない限り短波長赤外域における太陽光の地表面反射成分の観測データから導出される「カラム平均濃度(乾燥空気のカラム量に含まれる温室効果ガスのカラム量の割合)」を指す。

##### 3.1.1 背景

- 2021～2023年に発行されたIPCC第6次報告書(<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>、<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>)などにより、温室効果ガスの濃度や排出量の変遷とその気候変動への影響などがさらに明確に示された。
- 地上観測や衛星観測により、主要な温室効果ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)とメタン(CH<sub>4</sub>)の濃度は過去10年間上昇を続けていることが明らかになっている。
- 2015年には「世界の平均気温の上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする」ことを目標とするパリ協定が採択された。また「1.5度目標」を実現するための温室効果ガス排出シナリオも複数提案され、各種評価などに用いられている。
- 2023年には各国の温室効果ガス排出量削減の進捗状況などを把握するためのグローバルストックテイク(第1回)も実施された。また国連環境計画は2030年時点の各国の排出量削減予定量の合計は「1.5度目標」の実現には不十分であり、このままでは今世紀末には2.5度程度の気温上昇が見込まれると発表した(<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>)。
- CO<sub>2</sub>の削減不足を補うため、短期的な効果の見込める短寿命気候強制力因子(SLCF(Short-lived Climate Forcer))の排出削減の議論も進められている。SLCFにはブラックカーボン、対流圏オゾン、メタン、一部のフロン類が含まれる。
- 中でもメタンについては天然ガスの生産／輸送／消費プロセスや農業、廃棄物処理における漏洩の検知と対策などに注目が集まっている。またメタン排出量削減に関する国際的な枠組みや国毎の取り組みも近年多数発表されている(表3.1-1)。

表 3.1-1 メタン排出量削減に関する国際的枠組または国毎の取組の例

種別	名称	発表年月	URL
国際	Global Methane Pledge	2021年 12月	<a href="https://www.globalmethanepledge.org/">https://www.globalmethanepledge.org/</a>
国際	International Methane Emissions Observatory (IMEO)	2021 年 11 月	<a href="https://www.unep.org/topics/energy/methane/international-methane-emissions-observatory-imeo">https://www.unep.org/topics/energy/methane/international-methane-emissions-observatory-imeo</a>
欧州	EU Methane Strategy	2020年 10月	<a href="https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1833">https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1833</a>
米国	U.S. Methane Emissions Reduction Action Plan	2021年 11月	<a href="https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/11/US-Methane-Emissions-Reduction-Action-Plan-1.pdf">https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/11/US-Methane-Emissions-Reduction-Action-Plan-1.pdf</a>
カナダ	Faster and Further: Canada's Methane Strategy	2022年 11月	<a href="https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/reducing-methane-emissions/faster-further-strategy.html">https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/reducing-methane-emissions/faster-further-strategy.html</a>
中国	甲烷排放控制行动方案 Methane Emissions Control Action Plan	2023年 11月	<a href="https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202311/W020231107750707766959.pdf">https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202311/W020231107750707766959.pdf</a> <a href="https://www.igsd.org/china-releases-methane-emissions-control-action-plan/">https://www.igsd.org/china-releases-methane-emissions-control-action-plan/</a>

### 3. 1. 2 技術の概要

- GHG 排出源の直接観測が可能な衛星の一覧を表 3.1-2 に示す。
- CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> については地表面や海面で反射された太陽光の高波長分解能分光観測を短波長赤外域において行い、観測された吸収線の深さなどから当該分子の数や濃度を推定する。熱赤外域などの観測により GHG 濃度の鉛直分布や CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 以外の GHG 濃度を求めることも可能であるが、現在の主流にはなっていない。また吸収線付近の複数の波長を利用した差分吸収ライダーによる GHG 濃度観測も可能であるが、衛星搭載事例はまだ中国の一例のみ。
- 短波長赤外域の分光方法としてはフーリエ変換方式、回折格子、ファブリペロー方式の採用が多い。またいずれの方法も点観測から面観測への拡張が進んでいる。
- 観測された太陽光のスペクトルと放射伝達計算(シミュレーション)結果を比較し、その差を最小にする温室効果ガス濃度を最適推定により求める手法が主流となっている。またエアロゾルなどによる光路長の変動の影響を考慮する方法が複数存在する。
- さらに観測された濃度データから各気体の吸収排出量(フラックス)の時空間分布も推定されている。
- 全球や広域については大気輸送モデルを用いた逆解析(インバージョン)による事例が多数報告されている。
- 狭い領域としては、発電所や天然ガス施設、酪農関係施設、埋立地、廃棄物処理場などからの GHG 排出量推定事例が多数ある。またインバージョン以外のより簡便な排出量推定手法も開発されている。一方狭い領域における GHG 吸収量の推定は現時点では困難である。

表 3.1-2 主要な温室効果ガス観測が可能な衛星(運用中)の諸元  
(排出源の直接観測が可能な空間分解能を有するもの)

衛星名／プラットフォーム名	センサ名	打上げ／運用開始時期
Landsat-8	OLI	Feb 2013 -
Sentinel-2A	MSI	Jun 2015 -
GHGSat-D		Jun 2016 -
Sentinel-2B	MSI	Mar 2017 -
GaoFen-5	AHSI	May 2018 -
PRISMA		Mar 2019 -
ZY1-02D	AHSI	Sep 2019 -
ISS	HISUI	Dec 2019 -
GHGSat-C1/C2		Sep 2020 / Jan 2021 -
Landsat-9	OLI-2	Sep 2021 -
EnMAP		Apr 2022 -
GHGSat-C3/C4/C5		May 2022 -
ISS	EMIT	July 2022 -
GHGSat-C6/C7/C8		April 2023
GHGSat-C9/C10/C11		November 2023
GHOSat Constellation		April / June 2023
GEI-SAT Precursor		June 2023
MethaneSAT		March 2024

### 3. 1. 3 欧米の民間企業の活動

以下では欧米における民間企業の活動事例としてカナダの GHGSat 社とフランスの Kayrros 社の web 調査結果をまとめる。

#### 3. 1. 3. 1 GHGSat 社(カナダ)

<https://www.ghgsat.com/en/>

##### ア)概要

- ・ 2011 年にカナダで設立された。カナダ、米国、英国の 5 カ所にオフィスを持つ。社員数は 100 名以上。
- ・ 公的機関からエネルギー業界まで、さまざまな組織／制度から資金を調達している。日本の ENECHANGE 株式会社も出資中(表 3.1-3)。
- ・ 自社が特許を保有するファブリペロー方式の画像分光計を搭載した小型衛星を 2016 年より順次打上げ、2023 年末までに 12 機の衛星またはセンサの運用を開始している(表 3.1-4)。
- ・ 当初は CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> の両方を対象とすると発表していたが、実質的には CH<sub>4</sub> のみであった。一方 GHGSat-C10 は CO<sub>2</sub> 用に再設計された模様。
- ・ 特定地点の観測や得られたデータの解析サービス(CH<sub>4</sub> 排出量の算出など)を有償で実施している。
- ・ UKSA の出資により約 300 箇所の GHGSat 観測データが UNEP IMEO に提供される。観測場所は IMEO が指定するもの。

<https://www.ghgsat.com/en/newsroom/uk-provides-high-resolution-greenhouse-gas-data-to-uneps-international-methane-emissions-observatory/>

- ・ 2021年より Emissions Intelligence Platform である SPECTRA のウェブサービスを行っている。同サービスはその前身である PULSE(2020 年サービス開始)の時間分解能などを改善したもので、GHGSat 衛星や他者の衛星による(ユーザが所有する施設周辺の)CH<sub>4</sub> 排出量データの可視化／共有／意思決定支援を行う。

またその上級版の SPECTRA Premium のサービスも行っている。

<https://www.ghgsat.com/en/products-services/spectra/>

- 2026 年までに産業界の主要な CO<sub>2</sub> および CH<sub>4</sub> 排出源の排出量測定を毎日行う計画であることを 2023 年 12 月に発表した。この背景には 2023 年には現有の 12 の衛星センサを用いて 200 万回の観測を実施できたことがある。

表 3.1-3 GHGSat 社の最近の主要な資金調達事例

年月	調達総額	主な調達元	備考
2023 年 9 月	44 百万 米ドル	Fonds de solidarité FTQ BDC Capital, Business Development Bank of Canada (BDC) The Government of Québec through Investissement Québec Climate Investment The Japan Energy Fund	2011 年からの調達総額は 126 百万米ドル
2021 年 11 月	20 百万 米ドル	Ministry of Innovation, Science and Industry and Ministry of Environment and Climate Change through Sustainable Development Technology Canada (SDTC)	
2021 年 7 月	45 百万 米ドル	Government of Québec through Investissement Québec OGCI Climate Investments Space Capital	2011 年からの調達総額は 70 百万米ドル
2020 年 9 月	30 百万 米ドル	Government of Québec's Investissement Québec Business Development Bank of Canada Fonds de solidarité des travailleurs du Québec (FSTQ) Space Angels Schlumberger	総資金は 55 百万米ドル
2019 年 8 月	3.3 百万 カナダドル	Sustainable Development Technology Canada (SDTC)	目的は provide emissions measurements of oil and gas facilities in the Montney region of BC.
2018 年 9 月	10 百万 米ドル	OGCI Climate Investments Schlumberger Space Angels The Business Development Bank of Canada	総資金は 20 百万ドル以上



表 3.1-4 GHGSat 社の温室効果ガス観測衛星また衛星搭載センサ

打上げ年月	衛星名	衛星愛称	備考
2024 年 (予定)	GHGSat-C12 GHGSat-C13 GHGSat-C14 GHGSat-C15	(未定)	カナダ ABB 社の報道発表より
2023 年 11 月	GHGSat-C9 GHGSat-C10 GHGSat-C11	Juba Vanguard Elliot	C10 は CO <sub>2</sub> 観測用、C9 と C11 は他社の衛星に搭載された CH <sub>4</sub> センサ
2023 年 4 月	GHGSat-C6 GHGSat-C7 GHGSat-C8	Mey-Lin Gaspard Océane	
2022 年 5 月	GHGSat-C3 GHGSat-C4 GHGSat-C5	Luca Penny Diako	
2021 年 1 月	GHGSat-C2	Hugo	
2020 年 9 月	GHGSat-C1	Iris	
2016 年 6 月	GHGSat-D	Claire	デモンストレーション用

### 3. 1. 3. 2 Kayrros 社(フランス)

<https://www.kayrros.com>

#### ア)概要

- ・ 2016 年に設立されたフランスの民間企業。フランス、米国、英国、シンガポールに拠点を有する。社員数は 150 名以上。
- ・ 独自の GHG 観測衛星は保有していないが、無償または有償で入手可能な公共／民間衛星のデータを用いた解析サービスを実施している。特に AI を用いた衛星データ解析に強みを持つ。
- ・ CH<sub>4</sub> については Sentinel-5P 衛星に搭載された TROPOMI のデータ解析に積極的に取り組んでいる。
- ・ 同社は ESA の BASS (Business Applications and Space Solutions) プログラムの下で CNES の支援も受けた Methane Watch Demonstration Project を実施した。本件は現在の Kayrros Methane Watch につながっていると考えられる。

<https://methanewatch.kayrros.com>

- ・ 同社は 2020 年 2 月に人間活動により排出される温室効果ガスや大気汚染物質など排出量の地球規模でのモニタリングに関して情報通信研究機構 (NICT) との提携を発表した。

<https://www.nict.go.jp/info/topics/2020/02/18-1.html>

- ・ 2023 年 6 月には同社が ESA が関与する NewSpace Capital の支援を受けることが発表された。

<https://business.esa.int/news/esa-space-solutions-supported-company-kayrros-attracts-newspace-capital-funds-for-delivering-green-impact>

- ・ 2023 年 12 月に同社と KAPSARC (King Abdullah Petroleum Studies and Research Center) はサウジアラビアにおけるメタン排出の衛星観測に関して共同事業を行うことを発表した。

<https://staging.kayrros.com/fr/kapsarc-and-kayrros-unveil-saudi-arabias-methane-emission-landscape-using-satellite-technology/>

- ・ 同社は 2024 年 2 月に東京金融賞 2023 のグリーンファイナンス知事特別賞を「衛星の観測データを分析し、石油・ガス事業などによるメタン排出量の測定やモニタリング、排出源を特定できるサービスを開発・提供している。」「データは排出事業者の具体的な削減対策や、ESG 投資に取り組む投資家の意思決定などに活用される。」として受賞している。

<https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2024/02/01/21.html>

### 3. 2 温室効果ガス吸収排出量の認証

本節では温室効果ガス吸収排出量の認証関係において衛星データを利用している事例を取り上げる。

#### 3. 2. 1 背景など

- ・ 企業活動等の脱炭素化を後押しする制度として炭素クレジットがある。炭素クレジットには国際機関や国が実施するもの(国連の制度である京都メカニズムクレジット、二国間制度である JCM クレジット、国内制度である J-クレジットなど)と民間の認証機関が認証するもの(ボランタリークレジット)がある。
- ・ ボランタリークレジットとしては VCS(Verified Carbon Standard)、GS(Gold Standard)、CAR(Climate Action Reserve)、ACR(American Carbon Registry)などがあるが、VCS と GS が大きなシェアを占めている。
- ・ VCS の認証にあたっては衛星データの利用が森林分野などで進められている。

#### 3. 2. 2 欧米の民間企業の活動

以下では欧米における民間企業の活動として、ボランタリークレジットの認証などに関わっているフランスの Everimapct 社、英国の Mantle Labs 社、米国の Pachama 社の調査結果をまとめる。

##### 3. 2. 2. 1 Everimapct 社(フランス) <https://www.everimpact.com>

- ・ 地球観測衛星関係を含む国連勤務経験を有する複数の技術者が 2016 年に設立。EC およびアジア開発銀行などの支援を受けている。
- ・ 都市(関係する社会インフラを含む)や企業を対象にした GHG 排出量の測定、GHG 排出量削減機会の特定、そのような活動への資金調達の支援などを主な業務としている。
- ・ 衛星や地上設置センサ、気候モデル、AI を活用した高精度かつリアルタイムの GHG 排出量推定を行っている。地上設置センサについては自社による設置も行なっている。
- ・ GHG 排出量削減機会の特定については、独自技術を有している。
- ・ 資金調達支援については排出量、固定量の認証まで行うとしている。
- ・ 東南アジアのプランテーションを対象とした炭素固定量の推定を日本企業(Cor-an Holdings 株式会社)と連携して進めている。
- ・ 株式会社日立システムズと連携し宮城県の森林を対象に連携して森林の CO<sub>2</sub> 吸収量を可視化し、カーボンクレジット創出量を算出する実証実験を行ったと 2023 年に報道発表した。  
<https://www.hitachi-systems.com/news/2023/20230907.html>
- ・ 2022 年にはフランス・Dijon 市の 75 箇所に CO<sub>2</sub> センサを設置し、都市からの排出量のリアルタイム推定を行った。衛星データは風の情報を得るために用いたとのこと。
- ・ 南欧の高速道路からの排出の推定も行なっている。衛星データは道路周辺からの排出量の評価に利用されている。

##### 3. 2. 2. 2 Mantle Labs 社(英国) <https://mantle-labs.com>

- ・ 設立は 2016 年。リモートセンシング、環境科学、AI/機械学習を利用して、主に林業や農業を対象とした気候変動緩和・レジリエンス業務の支援を行なっている。  
ケンブリッジ大学(Computer Science Department と 2021 年に設立された The Cambridge Centre for Carbon Credits)、衛星画像提供者である Maxar、衛星による気象データ提供者である Spire と緊密に連携している模様。

- アジア太平洋地域の統括のために 2022 年にはオーストラリアに支社を設置した。
- Geobotanics という銀行、保険、農業/食料ビジネスおよび農業従事者が利用可能なデータシステムを構築している。同システムは衛星データを利用しており、「雲の影響を受けずに毎日更新が可能な勇逸の穀物モニタリングシステム」と称している。
- Geotree という衛星データ、生化学モデル、データ科学の技術を利用した水田などに適用可能な MRV システムを運用している。
- VCS、Gold Standard などの認証機関でも使用されている AMS-Ⅲ.AU 「Methane emission reduction by adjusted water management practice in rice cultivation 」(水稲栽培における水管理調整によるメタンガスの排出削減)の小規模水田における再評価を Verra と連携して 2023 年より進めている。  
<https://verra.org/verra-initiates-remote-sensing-analysis-pilot-with-mantle-labs-for-review-of-small-scale-methodology-rice-projects/>

### 3. 2. 2. 3 Pachama 社(米国)

<https://pachama.com>

- 南米出身者により 2018 年に設立された。アマゾンなど南米の森林伐採/劣化などが起業の理由の1つとのこと。社員は70名弱(2024年3月時点)。同社は Forbes AI50 に選ばれるなど高い評価を得ている。  
<https://www.forbes.com/lists/ai50/?sh=69d452c9290f>
- 衛星画像、リモートセンシング、機械学習の技術を用いて森林における炭素貯留量とその変化のモニタリング、さらには森林クレジット販売を行なっている。
- 森林炭素については衛星光学画像、現地プロットデータ、衛星レーダー、航空機および衛星ライダーデータを統合した機械学習モデルを構築している。衛星レーダーとして PALSAR の、衛星ライダーとして GEDI の使用実績はある模様。広域(フランス全土と同面積)の樹高マップをアマゾンにおいて作成済み。
- Verra と連携し、リモートセンシング技術を活用する森林炭素を対象とした DMRV (デジタル測定・報告・検証)プラットフォームの試験運用を 2022 年に開始している。DMRV によりデータの収集、分析、検証の方法が自動化・標準化され、炭素クレジット発行に関する時間やコストの削減が見込まれる。
- また Market Place という Pachama 社が評価済みの森林保全/再生プロジェクトへの投資を募るシステムや Pachama Original という次世代技術を用いた森林炭素プロジェクトの立ち上げを支援するシステムを運営している。

### 3.3 都市域(都市内緑被等)における衛星データ利用

都市内緑被等の把握に衛星データを利用しているイタリアの Latitudo 40 社とスペインの Lobelia Earth 社の web 調査結果をまとめる。

#### 3.3.1 Latitudo 40 社(イタリア) <https://www.latitudo40.com>

- ・2017年に設立された。社員数は13人。フェデリコ2世・ナポリ大学からのスピンオフ。
- ・2021年にESAのGlobal Space Markets Challengeのdownstream categoryにおいて上位6社の1つに選ばれている。世界最大級のプレシード投資家のTechstars、European Institute of Innovation and Technologyの気候変動緩和と適応のためのインキュベーションプログラムであるEIT Climate-KIC、米国カリフォルニアの国際的アーリーステージ・スタートアップ投資家のExpert Dojoなどからの投資を受けた。

<https://space-economy.esa.int/article/112/top-12-companies-selected-in-global-space-markets-challenge>

<https://www.latitudo40.com/aboutus/>

<https://www.latitudo40.com/blog/latitudo-40-receives-an-investment-from-expert-dojo-to-accelerate-the-climb-to-the-american-market>

- ・衛星データからゼロコードで、ユーザーが必要なSDGsや気候変動緩和の達成に資する都市域の情報を抽出・可視化することができるプラットフォームを提供している。衛星データに加えて気象データ、人口データ、その他オープンデータを用いて、それらを最先端のAI技術で処理することでソリューションを実現している。様々なソリューションを提供しているが(都市域の拡大や土地被覆の変化の把握、緑被の情報、熱環境マップなど)、特にグリーン分野におけるものを以下に示す。
- ・Tree Cover Density : Sentinel-2のデータを入力として、機械学習モデルにより10mメッシュの樹木被覆率のマップを出力する。高空間分解能商用衛星データや航空写真を用いて教師データを作成していると思われる。単体のプロダクトの時間分解能は1年だが、時系列のデータを用いて緑被面積の変化や樹木の健康状態のトレンドを分析するGreenery Health Trendというプロダクトも提供している。

[https://www.latitudo40.com/wp-content/uploads/2024/01/Tree\\_Cover\\_Density.pdf](https://www.latitudo40.com/wp-content/uploads/2024/01/Tree_Cover_Density.pdf)

[https://www.latitudo40.com/wp-content/uploads/2024/01/Greenery\\_Health\\_Trend.pdf](https://www.latitudo40.com/wp-content/uploads/2024/01/Greenery_Health_Trend.pdf)

- ・Carbon Storage : Sentinel-2のデータを入力として、機械学習モデルにより10mメッシュのバイオマスのマップを出力する。ESAのAbove-ground biomassデータ(100m空間分解能、ALOS PALSAR、Envisat ASAR、ICESat GLASなどのデータから推定)を教師としてU-Net型のネットワークをトレーニング。100m空間分解能でトレーニングしたモデルをSentinel-2の10m空間分解能のデータに適用しており、プロダクトの空間分解能は10m。

[https://www.latitudo40.com/wp-content/uploads/2024/01/Carbon\\_Storage.pdf](https://www.latitudo40.com/wp-content/uploads/2024/01/Carbon_Storage.pdf)

- ・主な顧客は国の行政機関や地方自治体、都市計画に関わる企業。ボランティアカーボンクレジット業界への参入も目指しており、これまでは規模が小さく評価が困難であったためにクレジットの承認を得ることが難しかった都市型森林の管理者を対象として想定している。

<https://scaleupitaly.com/interview-with-gaetano-volpe-latitudo-40/>

### 3. 3. 2 Lobelia Earth 社(スペイン) <https://www.lobelia.earth>

- ・ 2020 年に設立された。社員数は 35 人。2006 年に設立された地球観測分野における宇宙研究・サービス提供企業である isardSAT からのスピノフ。
- ・ EU のファンディングプログラムの Horizon 2020 や Horizon Europe から資金を得ている。また、Coalition for Climate Resilient Investment (民間主導の COP26 イニシアティブ。投資の意思決定に物理的気候リスクを統合するソリューションの開発に取り組む) の一員となっている。

[https://climateinitiativesplatform.org/index.php/Coalition\\_for\\_Climate\\_resilient\\_Investment\\_\(CCRI\)](https://climateinitiativesplatform.org/index.php/Coalition_for_Climate_resilient_Investment_(CCRI))

- ・ 衛星データと AI を用いて、気候リスクの定量化やアセスメントを行うことができるツールを提供している。衛星観測データの取得から結果の可視化までをサポートしている。対象は気候、植生、水、土壌、大気など多様で、街区から全球まで様々なスケールをカバーしており、特にグリーン分野においては以下に示す BiomassTrack というバイオマスプロダクトが挙げられる。
- ・ BiomassTrack では衛星データを用いて単木から広域まで様々なスケールにおいてバイオマスを推定することができる。衛星データとしては Sentinel-2 や商用の高空間分解能光学衛星が用いられているとみられる。入力画像から樹木の範囲を抽出し、対象領域内の樹冠被覆面積、植生指数、バイオマスなどを出力する。樹木の抽出にはセグメンテーションの AI モデルが、バイオマスの推定には植生指数などを用いて推定する AI モデルが使用されているとみられるが詳細は不明。このプロダクトはウェブ上で動き、樹木分布の可視化やグラフの作成などが可能。

<https://www.lobelia.earth/case-studies/biomass>

- ・ 主な顧客は意思決定に気候リスクを考慮したい市民や行政、投資先を決めるのに気候リスクを考慮したい投資家。

## 4. デジタル分野の成功事例

本章ではデジタル分野における欧米の民間企業の成功事例についてまとめる。

### 4. 1 スマートシティ

#### 4. 1. 1 都市活動や都市インフラの監視・対応と効率化

都市活動や都市インフラの監視などに衛星データを活用しているイスラエルの ASTERRA 社と米国の Similarity 社の web 調査結果を以下にまとめる。

##### 4. 1. 1. 1 ASTERRA 社(イスラエル)

<https://asterra.io>

- ・ 2013 年に Utilis 社として設立された。社員数は 77 人。2016 年から衛星データを用いて漏水検知作業を効率化するソリューションを提供してきており、2021 年からは同ソリューションを ASTERRA というブランド名で展開している。
- ・ 複数のベンチャーキャピタルから資金を調達してきており、近年では 2021 年に米国の Beringea から 600 万ドルの資金を調達した。米国、英国にオフィスがあり、64 カ国でサービスを提供してきた。国によっては代理店も存在する（日本：J21 社、英国：SUEZ 社）。

<https://asterra.io/resources/utilis-secures-6m-from-beringea-to-harness-satellites-to-protect-critical-infrastructure-and-global-water-supplies/>

<https://asterra.japan21.co.jp/>

<https://www.suez.com/en/uk/water-network-management/leakage/satellite-water-leak-detection>

- ・ 水道事業者が管路データ（GIS データ）を ASTERRA に提供すると、そのデータおよび衛星 SAR データと AI 技術により、漏水の可能性が高い箇所が検出される。結果は ASTERRA が提供するプラットフォームの GIS システム上に表示され、現場の作業員がスマートフォンなどで確認して漏水の可能性が高い箇所のみを従来の音聴調査などで調査することができるため、調査の大幅な効率化が期待される。
- ・ 漏水の可能性が高い箇所の検出を 1 回実施するプランのほかに、2 時期のデータの解析から管路の更新の優先度を 5 段階で評価するプランなど複数のプランを提供。
- ・ Lバンドの衛星 SAR データが用いられている（ALOS-2 およびアルゼンチンの SAOCOM-1A/-1B）。飲用水、下水、海水、湖、プールなど水の種類によって誘電率が異なるためマイクロ波の反射特性が異なることを利用して、飲用水の漏水（飲用水と土壌が混じった個所からの信号）を検出する。地下 3 m ほどまで検出できるとされている。偏波の情報も使っているとみられる。

[https://asterra.io/wp-content/uploads/2021/08/LeakDetection-Whitepaper-LETTER\\_WEB.pdf](https://asterra.io/wp-content/uploads/2021/08/LeakDetection-Whitepaper-LETTER_WEB.pdf)

<https://www.timesofisrael.com/outer-space-tech-used-by-israeli-startup-to-find-water-leaks-on-earth/>

- ・ 主な顧客は水道事業者。日本では 2020 年に豊田市が本ソリューションを利用して水道管の漏水調査を実施した。そこでは、漏水可能性区域として 556 区域が ASTERRA により検出され、そのうち 154 区域で実際に漏水が検出された。また、従来は 5 年かかる調査を 7 か月で実施できたと報告されている。

<https://www.city.toyota.aichi.jp/pressrelease/1043553/1044032.html>

<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2106/16/news114.html>

- ・ 漏水検知の他にも土壌水分のプロダクトも提供している。地下 3 m ほどまでの土壌水分量を L バン

ドの衛星 SAR データから推定している。ダム、堤防、採掘場、鉄道、道路などにおける災害リスクやメンテナンスの必要性などの評価における利用が想定されている。このプロダクトの顧客は上記のようなインフラの管理者。

<https://asterra.io/solutions/earthworks/>

#### 4. 1. 1. 2 Similarity 社(米国)

<https://similarity.com>

- ・ 2011 年に設立された。社員数は 5 人。衛星データと AI 技術により都市域における異常を自動で検知するソフトウェアを提供している。
- ・ Cisco Entrepreneurs in Residence (米国)、SAP:iO (米国)、Shatter Tech Venture Holdings (フィリピン) など複数のインキュベーター・アクセラレーターから資金を調達した。2018 年にシードラウンドを終え、政府との契約や高空間分解能衛星画像の提供業者とのパートナーシップ契約などを行った。

<https://similarity.com/about/>

- ・ 主要なプロダクトは AIADS (Automation Image Anomaly Detection System)。時系列衛星画像から都市の変化 (開発、災害) を監視する。AI 技術により、単なる 2 時期の変化ではなく、時系列的に見たときのアノマリーをノーマルな変化とは区別して検出することができる。AIADS は当初は光学データを対象としていたが現在では SAR データにも対応している。

<https://similarity.com/automated-image-anomaly-detection-system/>

- ・ AIADS の他にも、分解能やフォーマットが異なる衛星データ (光学、SAR) であっても高精度な位置合わせをすることができるツール COREG (Image Co-Registration) や複数の画像の明るさのダイナミックレンジを最適化し変化抽出に適したデータセットを作成する DRA (Dynamic Range Adjustment) も提供している。

<https://similarity.com/products/>

- ・ AIADS、COREG、DRA は、UP42 社 (ドイツ、Airbus の子会社) が提供する衛星データプラットフォームに導入されており、UP42 に格納されている様々な衛星データ (Landsat-8、Sentinel-2、SPOT 6/7、Pliades 1A/B、MODIS など) を利用した解析が可能。

<https://up42.com/marketplace/analytics/temporal-change-detection>

- ・ 主な顧客は、米国とアジア太平洋地域の国の行政機関や地方自治体、都市計画に関わる企業。
- ・ 利用者が UP42 において Similarity のシステムを使用した場合は、UP42 から Similarity にロイヤルティが支払われる。利用者が直接 Similarity に利用料を支払うことで、自身の環境に Similarity のシステムを導入することもできる。また、地理空間情報コンサルタント企業が Similarity のシステムを利用している事例もある。

[https://www.getmap.eu/similarity\\_get\\_mou\\_partnership\\_en/?lang=en](https://www.getmap.eu/similarity_get_mou_partnership_en/?lang=en)

#### 4. 1. 2 都市計画の最適化

都市計画の最適化などに衛星データを利用している英国の 4 Earth Intelligence 社と米国の Orbital Insight 社の web 調査結果を以下にまとめる。

##### 4. 1. 2. 1 4 Earth Intelligence 社(英国) <https://www.4earthintelligence.com>

- ・ 2015 年に設立された。社員数は 31 人。Proteus Geo、TCarta と社名を変え 2019 年から現在の名前。衛星データから利用者がサステナブルな意思決定に使用できる情報を抽出して提供している。
- ・ UK Space Agency、ESA から資金提供を受けた。キングス・カレッジ・ロンドンと共同で ESA の研究プロジェクトにも参画している。様々なソリューションを提供しているが特にスマートシティに関わるものを以下に挙げる。

[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/62c80f448fa8f54e821ec36c/Copy\\_of\\_UKSA\\_June\\_22.csv](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/62c80f448fa8f54e821ec36c/Copy_of_UKSA_June_22.csv)

<https://amerisurv.com/2019/05/07/tcarta-teams-up-with-kings-college-london-and-wins-esa-funding-for-satellite-based-air-quality-service/>

- ・ Heat Hazard Index : 30 m の空間分解能で熱リスクのマップを提供する。Landsat-8 のデータを使用。熱赤外域のデータと可視・近赤外データおよび AI 技術により 30 m 分解能の表面温度画像を作成しているとみられる。複数時期の表面温度画像を標準化後にモザイクして 5 段階のリスクマップを製作。地方自治体などが熱環境への対策が必要な箇所の把握やヒートハザードを考慮した今後の計画の策定に利用することが想定されている。Bristol 市議会やグラスゴー・クライドバレー戦略開発計画局において Heat Hazard Index のデータが使用されている。

<https://www.4earthintelligence.com/ar/heat/>

- ・ Country Intelligence suite : 環境、人口、交通、経済など様々な情報を GIS 上に重ねて経済分析、政策立案、SDGs レポートなどをサポートするツール。人口統計データ、富指標、過去のイベント（政治的、衛生的、気象的など）、土地被覆、交通、特定施設の位置（学校、病院、宗教施設など）の 6 つのレイヤーから成る。それぞれのレイヤーに含まれる情報は衛星観測データに加えて世界銀行のデータ、オープンストリートマップ、国勢調査、公文書などから作成される。例えば土地被覆情報は、マルチバンドのデータおよび NDVI や SAVI などの植生指数から、欧州の土地被覆マッピングの標準である CORINE プログラムのスキームに沿って作成されている（使用衛星・センサは明示されていないが、Sentinel-2 および Landsat-8 が使用されているとみられる）。

<https://www.4earthintelligence.com/country-intelligence/>

<https://www.4earthintelligence.com/insights/4-earth-intelligence-supports-environmental-policy-development-with-satellite-land-use-mapping/>

- ・ 主な顧客は、国の行政機関や地方自治体、都市計画に関わる企業。

##### 4. 1. 2. 2 Orbital Insight 社(米国) <https://orbitalinsight.com>

- ・ 2013 年に設立された。社員数は 63 人。衛星データと AI 技術を用いて地理空間分析を行うことができるプラットフォームを提供している。
- ・ Sequoia Capital、GV、Clearvision Ventures、Geodesic Capital（いずれも米国）など複数のベンチャーキャピタルから資金を調達してきており、2017 年にはレイターステージとなっている。

<https://notice.co/c/orbitalinsight>



- Orbital Insight GO というプラットフォームを提供している。衛星データとしては主に商用の高空間分解能光学衛星（Planet、Airbus、Maxar など）が利用される。衛星画像を分析する様々な機能が搭載されており、代表的なものとしては物体検出が挙げられる。AI 技術により画像から車両を検出して、人流データなどと合わせて経済活動を分析し、投資や出店計画の参考とすることができる。他にも航空機や船などの検出も可能。プラットフォーム上では、対象とする物体と領域を指定すると、ポイントやバウンディングボックスで物体の位置が表示される。

<https://orbitalinsight.com/blog/leveraging-deep-learning-for-vehicle-detection-and-classification>

<https://orbitalinsight.com/resources/white-papers>

- 土地利用の分析も可能。特定期間内の複数の画像を用いて雲の影響を低減して結果のマップを出力する。セグメンテーションの AI モデルを使用しているとみられる。分類カテゴリとしては建物、道路、森林、草地、水面など。1.5 m 空間分解能のプロダクトは SPOT のデータを、3~5 m 空間分解能のプロダクトは Planet Dove のデータを用いて作成される。時系列解析も可能であり、都市開発やスプロールの現況を考慮した都市計画への活用が想定される。

<https://docs.orbitalinsight.com/docs/land-use>

- 主な顧客は、都市や経済の現況を考慮した意思決定を行いたい投資家、公共分野の事業者、小売業者、金融業者など。日本では伊藤忠商事とスカパーJSAT が代理店となっている。三井住友銀行は 2020 年から Orbital Insight のソリューションを利用した衛星データ分析サービスを提供している。

<https://www.itochu.co.jp/ja/news/press/2017/171115.html>

[https://www.smbc.co.jp/news/pdf/j20201109\\_01.pdf](https://www.smbc.co.jp/news/pdf/j20201109_01.pdf)

#### 4. 1. 3 都市デジタルツインの構築・更新

都市デジタルツインに関して衛星データを利用しているスイスの Wegaw 社とポーランドの Creotech Instruments S.A.社の web 調査結果を以下にまとめる。

##### 4. 1. 3. 1 Wegaw 社(スイス)

<https://wegaw.com>

- ・ 2016 年に設立された。社員数は 10 人。Snow & Water Digital Twins を提供している。
- ・ Katapult (ノルウェー)、Great Stuff Ventures (オランダ)、Innosuisse (スイス) などのアクセラレーター/インキュベーター、ベンチャーキャピタルからの投資、クラウドファンディングなどにより資金を調達してきた。2019 年には ESA と 370000 ユーロの契約を結び、Wegaw のプロダクトが ESA からリリースされた。

[https://www.crunchbase.com/organization/wehike/company\\_financials](https://www.crunchbase.com/organization/wehike/company_financials)

<https://www.startupticker.ch/en/news/june-2019/wegaw-signs-an-eur-370k-contract-with-the-european-space-agency>

- ・ 地図上でのプロダクトの可視化やグラフの作成が可能なウェブアプリを提供している。積雪深プロダクトと積雪水当量プロダクトを提供している。
- ・ 光学衛星データ (Sentinel-2、MODIS/VIIRS) および気象再解析データ (NOAA、ECMWF) を説明変数、現地での超音波測定による積雪深および GNSS による積雪深を正解として機械学習モデルを作成している。これにより毎日の 100 m 空間分解能の積雪深マップと積雪水当量マップが作成される。さらに、UAV で測定した積雪深マップに合うように学習したアップサンプリングモデルを適用して高空間分解能化することも可能。

<https://wegaw.com/snow-water-equivalent-dataset-assessment/>

<https://medium.com/wegaw/super-resolution-snow-height-deep-learning-solutions-for-solar-power-2c87df227dae>

- ・ 上記の積雪情報と水文モデルを用いて、各時期におけるダムへの雪解け水の流入量などを計算することが可能。水文モデルによる計算は、現在はウェブアプリ上では行うことはできないとみられるが、社員が執筆した記事には AI によるサロゲートモデルの記述もあり今後利用可能になる可能性がある。

<https://medium.com/wegaw/how-to-use-wegaw-snow-water-equivalent-data-in-any-hydrological-forecast-model-df59767d5136>

- ・ 主な顧客は電力関連業者 (水力発電における効率的な運用や設備メンテナンスへの活用、山岳地帯への太陽光発電パネル設置計画の最適化への活用)、旅行関連事業者 (雪山レジャーの計画や運用への活用)。Wegaw のソリューションを他の衛星データ解析企業が利用してサービスを提供している事例もあり、日本ではスペースシフトが業務提携を結んでいる。

<https://www.spcsft.com/news/647/>

##### 4. 1. 3. 2 Creotech Instruments S.A.社(ポーランド) <https://creotech.pl>

- ・ 2008 年に設立された。社員数は 180 人。ガンマ線バーストなどの天文現象を観測するためのプロジェクト Pi of the Sky からのスピニアウト。
- ・ 衛星システムの部品を製造する会社だが、近年では UAV による配送システムを支援するハードウェア、ソフトウェアの開発も行っている。デジタルツインに関連するものとしては、目視外飛行の申請をサポートするための、衛星による標高データを活用した GREY tool が挙げられる

- GREY tool は ESA のデモンストレーションプロジェクトとして始まった。開始時のプロジェクト名は BFPaaS (Beyond Visual Line of Sight Flight Planning as a Service)。プロジェクトは 2021 年に終了し、その後プロダクトとして提供するためのさらなる開発が進められた。

<https://business.esa.int/projects/grey-former-bfpaas>

- GREY tool では、標高データ (DSM) を用いて安全な飛行ルートの作成や飛行の申請に必要な情報の取得をすることができる。既存の DSM は出所が不明確であったり、いつのものか不明確であったりするため、Sentinel-1 の SAR データなどから最新の DSM を作成し使用している。空間分解能は 0.5~1 m。DSM は定期的にアップデートされる。現在はポーランド国内のデータを提供しているが国外に拡張することは可能とされている。

<https://creotech.pl/project/bfpaas-grey/>

- 主な顧客は配送などを行う UAV 事業者、その他航空事業者が想定されている。

#### 4. 1. 4 都市環境の監視、環境価値の可視化

温室効果ガスに関連する事例は 3.3 にまとめたため、ここではその他の都市環境情報として大気環境に関する事例としてスペインの Lobelia Earth 社の web 調査結果を以下にまとめる。

##### 4. 1. 4. 1 Lobelia Earth 社(スペイン) <https://www.lobelia.earth>

- ・会社の概要は 3.3.2 に示した通り。大気環境関連のプロダクトとして、大気汚染情報のマッピングや分析が可能なプラットフォームである AirQast を運用している。AirQast では以下の 4 つのソリューションが提供されている。  
<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5ccb86711&appId=PPGMS>
- ・Emissions：空間分解能 0.25°、時間分解能 1 か月の NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub> の排出量マップを提供している。衛星データとしては OMI、GOME-2、TROPOMI、MODIS、HIMAWARI、VIIRS などが用いられている。NO<sub>2</sub> については独自の、SO<sub>2</sub> と PM<sub>2.5</sub> については既存のアルゴリズムで推定を行っている。さらに、オープンソースのデータを用いて 0.01° に高分解能化したプロダクトも提供している。
- ・Forecast：空間分解能 0.25°、時間分解能 1 時間で、48 時間先までの PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> の濃度分布の予測を提供する。KNMI、ECMWF、FMI などインベントリや輸送モデルの異なる複数の機関のアルゴリズムの出力のアンサンブルを用いている。
- ・Retina：地上に設置した多くの安価なセンサと TROPOMI のデータ、および排出源関連の情報を用いて数値シミュレーションにより NO<sub>2</sub> や PM<sub>2.5</sub> の濃度分布を作成。50 m ほどの空間分解能で、48 時間先までの予測も可能。
- ・ATMO-Plan：交通の排出量を変えた時の大気環境への影響をシミュレーションすることができる。交通の状況や気象のデータベースが事前に定義されており、計算もプラットフォーム側で行われるため、専門家でなくても簡単に実行することができる。NO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> に対応している。対象地域は EU 加盟国。

#### 4. 1. 5 その他(健康・医療)

健康・医療分野における衛星データ利用については国内での関心や民間ニーズがまだあまりないこともあり CONSEO における議論では取り上げられなかったが、アジアの大都市などにおける大気汚染や黄砂や PM<sub>2.5</sub> など、我が国への越境大気汚染などの問題は存在するため、今後重要分野として浮上する可能性がある。このため、本分野についても英国の siHealth 社の web 調査結果をまとめる。

##### 4. 1. 5. 1 siHealth 社(英国) <https://www.sihealth.co.uk>

- ・2015 年に設立された。社員数は 16 人。イタリアのリモートセンシング関連企業 Flyby からのスピノフ。衛星データを活用したヘルスケアソリューションを提供している。
- ・ESA Space Solutions の支援を受けた。EU のファンディングプログラムの Horizon 2020 の AURORA (Advanced Ultraviolet Radiation and Ozone Retrieval for Applications) プロジェクトで開発された技術をもとにソリューションを提供している。

<https://business.esa.int/business-network/sihealth-ltd>

<http://www.aurora-copernicus.eu/happysun-an-even-safer-photoprotection-solution-thanks-to-the-aurora-project/>

- ・ ユーザーがいる場所における紫外線暴露量を衛星データから推定する HappySun という技術を有している。それをもとに日光によるフォトダイナミックセラピーをサポートするアプリ SmartPDT や日光浴をサポートする（どの程度の時間であれば健康によく肌に問題がないかを教えてくれる）アプリ Sun4Health を提供している。
- ・ 従来の気象予報に基づいたサービスは不確実性が大きい。またユーザーが紫外線センサを所持する方法も、ユーザーが常にセンサを太陽に向ける必要がある、またはセンサの設置方法によって誤差が生じるなど問題が多かった。そこで衛星観測により取得した大気の情報と放射伝達モデルを用いて紫外線量を推定している。
- ・ 欧州の静止気象衛星 MSG のスペクトルから推定した雲の光学的厚さ（15 分おき）、および GOME-2 や OMI から得られるオゾンの total column density（1～3 日おき）を大気放射伝達モデルに入力して対象地点の UV 量を計算する（空間分解能は緯度に依存し 1～12 km 程度、時間分解能は 15 分程度）。気象衛星はピクセル内で雲被覆一様と仮定していることもあり、ある場所のある時刻の UV 量をピンポイントに当てるのではなく、紫外線評価で重要な時間で積算した暴露量を推定することを想定している。  
<https://link.springer.com/article/10.1039/c6pp00129g>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136468262030328X>
- ・ HappySun の方法で推定した UV 放射量（15 分分解能のデータを 1 時間積算）と地上測定データとの比較もされており、高い相関があることが報告されている。実際にアプリを使った被験者実験も行われており、アプリを使ったグループと使っていないグループの比較からアプリの有効性が確認されている。  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136468262030328X>  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s43630-022-00263-7>
- ・ 主な顧客はフォトダイナミックセラピーを行う医療従事者、日光浴をする人や屋外で活動する際に紫外線を気にする人。

## 4.2 地球デジタルツイン

我が国では株式会社スペースデータ、株式会社スペースシフト、株式会社 Ridge-i などが官民の資金を得て地球デジタルツインに関する業務を行なっている。

以下ではデジタルツインのうち、4.1.3 で取り上げなかった地球全体や広域を対象としたデジタルツインに関わる欧米の企業の web 調査結果および欧米の公的機関による地球デジタルツイン事業への民間企業の参画事例などをまとめる。

### 4.2.1 OneConcern 社(米国) <https://www.oneconcern.com>

- 2015 年設立の防災分野のスタートアップ企業。CEO はスタンフォード大学で構造工学を学んでいた。
- 2020 年には One Concern 株式会社を設立し、日本での業務を開始した。
- ある地点の地形や建物をバーチャル空間に「デジタルツイン」として再現し、将来、発生し得る災害をシミュレーションする技術を開発。災害科学と AI や機械学習を融合することで意思決定を改善する RaaS (Resilience-as-a-Service) ソリューションを提供する。
- 損保ジャパンと連携し熊本市に置いて実証プロジェクトを推進している。  
<https://smartiot-forum.jp/iot-val-team/iot-case/case-sompo-japan02>
- 気候レジリエンスの強化に向けたデジタルツインの構築においては、衛星、河川の水位計、気象レーダーのデータなどの取り込みも行なっている。
- 2023 年には保険サービスの多国籍企業グループである Swiss Re グループとの自然災害による業務中断リスクの評価に関する提携を発表した。Swiss Re グループの Nat Cat プラットフォームは全球を対象として自然災害のリスクなどに関する情報を衛星画像や背景マップなどと合わせて提供することができる。

### 4.2.2 米国海洋大気庁(NOAA) <https://www.noaa.gov>

- 2022 年に米国海洋大気庁が開発中の地球デジタルツインについて、世界有数の防衛・宇宙航空企業である Lockheed Martin 社(米国)と GPGPU で有名な NVIDIA 社(米国)が協力することが発表された。本デジタルツインは世界規模の気象予測改善に貢献することが期待されている。
- 本デジタルツインは Lockheed Martin 社の OpenRosetta3 プラットフォームを利用するもので、複数の観測データの取り込みから異常検出までのフローにおいて AI と機械学習を利用する。また NVIDIA 社の 3D データに関する開発環境である Omniverse や Lockheed Martin 社の可視化プラットフォーム Agatha も活用される。
- Lockheed Martin 社と NVIDIA 社は森林火災対策においてもその AI およびデジタルツイン技術に関係省庁に提供している模様。

<https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-enterprise/lockheed-martin-wild>

### 4.2.3 米国航空宇宙局(NASA) <https://esto.nasa.gov/earth-system-digital-twin/>

- NASA では Earth Science to Action initiative において重要な役割を占める事業として、地球システム内の複雑な相互作用の理解や予測のための Earth System Digital Twins (ESDT) に取り組んでいる。
- Advanced Information Systems Technology プログラムのもと、ESDT の複数の研究プロジェクト(健康、火災/大気汚染、大気海洋相互作用、大気化学、農業、水文などの分野における研究や ESDT のインフラストラクチャーに関する研究など)を進めている。ESA、Destination Earth、CNES などとの協力も想定されている。ただし現時点では研究機関向けの活動となっており、欧州のような民間企業との契約はまだしていない模様。

[https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20230010074/downloads/2023-06-15\\_Keynote-STC-DT-Webinars\\_Final.pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20230010074/downloads/2023-06-15_Keynote-STC-DT-Webinars_Final.pdf)

- 2023年9月には異なるデジタルツイン間の相互運用性やその標準化に関するワークショップを開催し、産学官および欧州のデジタルツイン関係機関からの意見聴取や議論を行った。デジタルツイン事業の周辺環境の整理やその開発の定式化を進めることで民間からの参入を促す狙いもある模様。
- NASAとIBMはESDTとは別の枠組みで、地理空間データのAI基盤オープンソースモデルの構築を進めている。本モデルはIBMの基盤モデル技術を活用したもので、米国本土の1年間にわたるHarmonized Landsat Sentinel-2データ(HLS)を使って学習を行っている。

<https://jp.newsroom.ibm.com/2023-08-04-IBM-and-NASA-Open-Source-Largest-Geospatial-AI-Foundation-Model-on-Hugging-Face>

#### 4. 2. 4 NVIDIA(米国)

<https://www.nvidia.com/en-us/>

- NVIDIA社の自社のGPUなどの計算機技術、機械学習などのソフトウェア技術を駆使した地球デジタルツインであるEarth-2を開発中である。
- 2024年3月には、Earth-2の新しいクラウドAPIを使用すると、すべてのユーザーがAIを活用して地球規模の大気や局地的な雲量から台風や乱気流に至るまでのインタラクティブな高解像度シミュレーションを迅速に実施できると発表した。既に台湾中央気象局は、これらのモデルを使用して台風の上陸位置をより正確に予測することを計画している。
- 気象データを大量に保有するThe Weather Companyは、自社の気象データとWeatherverseツールをNVIDIAのEarth-2 Cloud APIの重要なコンポーネントであるOmniverseに統合し、デジタルツインを構築しているユーザが実際の気象条件の影響を可視化できるようにすることを計画している。
- Earth-2 APIを早期に導入した企業には、SpireやMeteomaticsなどの気象分析プラットフォーム企業がある。

#### 4. 2. 5 Destination Earth(欧州)

<https://destination-earth.eu>

- 欧州委員会は2022年にDestination Earthイニシアチブの開始を発表した。終了予定は2030年である。
- DestineEシステムはEC、欧州宇宙機関(ESA)、欧州中期天気予報センター(ECMWF)、欧州気象衛星開発機構(EUMETSAT)によって2024年末までに開発される。そのうちデジタルツイン部分の開発はECMWFが開発するもので、リアルタイムの観測とシミュレーションからのデータを組み合わせる。また災害に関するデジタルツイン(Digital Twin on Weather-Induced and Geophysical Extremes)と気候変動への適応に関するデジタルツイン(Digital Twin on Climate Change Adaptation)がある。前者は洪水、干ばつ、熱波、地震、火山噴火、津波などに焦点をあて、後者はカーボンニュートラルの達成に関する持続可能な農業、エネルギー安全保障、生物多様性の保護などの情報を提供する。またECMWFはこの開発にあたり、イタリアのHPC研究機関であるCINECAやフィンランドの研究機関であるCSC-IT Center for Scienceとの協力を発表している。
- 欧州に拠点を有する国際企業グループであるRHEA GroupはDestineEのユースケースのプロジェクトに関する契約をESAと締結したことを2023年に発表した。DestineEのユースケースの特定、ユーザからの意見の取りまとめなどの業務をイタリアの大学やそのほかの企業と連携して実施する。また2024年1月には第1弾として選定された5件のユースケース(分野は漁業、都市災害、都市計画、再生可能エネルギー、海氷/海運)が発表された。2024年中に第2弾も決定されるとのこと。

- EUMETSAT が担当する巨大データストレージである Data Lake はポーランドのクラウドサービス企業である CloudFerro (2015 年設立) が主契約者になっている。同社は欧州の複数の場所に設置されたクラウドデータセンターの提供と運用と担当する。また前述の RHEA Group も Data Lake に関するシステムエンジニアリングサービスの提供を行う。



### 4.3 農林業

農林業はリモートセンシングの活用が盛んな分野であるが、今回は特に近年活発に活動している欧米のスタートアップ企業である米国の OneSoil 社とドイツの LiveEO 社について web 調査を行った結果を報告する。

#### 4.3.1 OneSoil 社(米国) <https://onesoil.ai/en>

- 2017 年設立。精密農業の観点から農業従事者、農業系企業を支援する情報プラットフォームを提供するスタートアップ企業。社員は 100 名弱。;business
- 機械学習などを用いて圃場ポリゴン、作付け作物、生産性などをマッピング・時系列グラフ化し、その結果を配信するシステムを開発。MapBox の技術を使っている模様。
- 欧米中心に、圃場ポリゴンは 59 か国(南米、南アフリカ、オーストラリアを含む)で整備されている。
- スマートホン用の圃場管理アプリも無償提供中(Google Play、App Store)。
- 衛星データとしては Landsat と Sentinel-2 を主に使っている。空間分解能の不足には機械学習で対応している。また雲の影響については長期間データの利用、または Sentinel-1 の SAR データの利用で対応している。
- 気象条件などを計測する現地センサの設置も自社で行なっている。
- 「The OneSoil Business to Business API」の提供により収益を得ている模様。

#### 4.3.2 LiveEO 社(ドイツ) <https://www.live-eo.com/>

- 2018 年設立。
- 大量の衛星データを AI 技術を使って解析し、線状の社会インフラ(リニアインフラ:鉄道、送電線、パイプラインなど)のモニタリング、リスク情報の抽出を行なっている。  
Treeline solution(<https://www.live-eo.com/solution/vegetation-management-insights>)
- ニアリアルタイムの情報提供を行なっている。
- EUDR(森林デューデリジェンス規則)に準拠した森林伐採のモニタリングや植生の種組成/健康状態の分析、リスクのある樹木の特定などを衛星画像と航空機ライダーデータを併用して行なっている。
- スマートフォン用のアプリ(LiveEO Field Crew)を開発し、サービスを提供している(Google Play、App Store)。
- ESA Business Applications Programme に採択され、宇宙技術のビジネス利用に関する Demonstration Project を 2020~2021 年に実施した。
- 衛星データとしては Sentinel シリーズを多く使っている模様。

#### 4. 4 インフラストラクチャー

インフラの監視もリモートセンシングの活用が盛んな分野であるが、今回はこの分野で成功しているイタリアの TRE ALTAMIRA 社とカナダの 3vGeomatics 社について web 調査を行った結果を報告する。

##### 4. 4. 1 TRE ALTAMIRA 社(イタリア) <https://site.tre-altamira.com>

- 2000 年に設立された。社員数は 100~200 人。
- ミラノ工科大学における InSAR の研究がもととなり 2000 年に TRE (Tele-Rilevamento Europa) が設立された。また 1999 年に設立された ALTAMIRA は 2003 年から InSAR のサービス提供を開始した。ALTAMIRA は 2010 年に、TRE は 2015 年に CLS (Collecte Localisation Satellites) group に買収され、現在は TRE ALTAMIRA として CLS のグループ会社となっている。
- InSAR による変位モニタリングサービスを提供している。TRE の設立時にミラノ工科大学で開発された PS-InSAR 法が用いられていたが、それを PS 点が少ない地域にも適用できるように拡張した SqueeSAR 法が 2012 年に開発されており、現在のメインの処理アルゴリズムになっているとみられる。  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/898661>  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/5765671>
- TerraSAR-X/TanDEM-X、Sentinel-1、ALOS-2 など様々な衛星のデータを扱っており、空間分解能、データカバレッジ、コストなど顧客のニーズに合わせて最適なデータを用いて解析を行う。毎週から四半期ごとなど必要な間隔で継続定期的にモニタリングを行い、地表面や地物などの対象の変位の情報を提供している。結果は TReMaps というウェブプラットフォームで確認することができ、2 次元や 3 次元でのデータの可視化、時系列解析、SHP や CSV など他の形式への書き出しなどが可能。  
<https://site.tre-altamira.com/insar-solutions/insar-monitoring/>
- 他にも、SqueeSAR 法でも解析が困難な場所(森林や雪原)のためにコーナーリフレクターの販売も行っており、設置場所の検討や現場への設置までサポートをしている。さらにデータ解析をサポートするソリューションもあり、ArcGIS 上で変位の解析、データの可視化、地図の作成などを行うことができるツールバーを提供している。
- 主な顧客は石油・ガス事業者(採掘状況の監視、油層・ガス層モデルの最適化、設備の異常監視)、鉱業事業者(安全性の監視、掘削時の既存設備への影響監視)、道路・鉄道・橋梁・トンネル・ダムなどの都市インフラ事業者(地盤沈下の監視、インフラの健全性の評価)。日本では株式会社スペースシフトや株式会社パスコと提携している。

##### 4. 4. 2 3vGeomatics 社(カナダ) <https://3vgeomatics.com>

- 2007 年に設立された。社員数は 50 人以上。InSAR を用いた変位モニタリングサービスを提供している。
- Terra Insights 社が提供する、InSAR や現場レベルのセンサを用いて地盤や構造物のモニタリングからデータの配布まで end to end のソリューションを提供するプラットフォームに参加している。他の参加企業は MEMS 傾斜計を開発する Measurand 社(カナダ)や小型無線振動計を開発する Syscom 社(スイス)。  
<https://terrainsights.com/>
- Displacement DataStream と呼ばれる InSAR のデータ処理プロセスによる結果を、Motionary と呼ばれるウェブベースのプラットフォームで確認することができる。
- Displacement DataStream の主な特徴は処理結果の提供スピードと顧客のニーズに応じて様々な衛星 SAR データを扱えることである。InSAR の処理には通常対象のデータを一括して入力する必要があり処理に時間

がかかるが、ここでは最新のデータのみを既存のデータに対して追加的に処理することで、最新のデータを入手後 24 時間以内で処理結果を提供できるとしている。変位が顕著な範囲を統計モデルにより特定してポリゴンを作成するなどユーザー補助の機能も有する。Displacement DataStream の処理結果はアマゾンウェブサービスのクラウドに保存される。

<https://3vgeomatics.com/solutions/products/displacement-datastream/>

- Motionary は Displacement DataStream を購入すれば追加コストなしで使用でき、クラウドに保存された Displacement DataStream の処理結果の可視化や解析が可能である。パソコン、タブレット、スマートフォンなど様々なデバイスで使用することができる。また ArcGIS、QGIS、AutoCAD など一般的なソフトウェアで使用可能なベクターやラスターデータを作成可能。

<https://3vgeomatics.com/solutions/products/motionary/>

- 主な顧客は石油・ガス事業者、鉱業事業者、都市インフラ事業者。

## 5. デジタル分野、グリーン分野における企業のビジネスモデル、グローバル展開

本章では第3章、第4章に示した企業毎の調査結果をふまえ、デジタル分野、グリーン分野における企業のビジネスモデル、グローバル展開を分析・検討した結果をまとめる。

### 1) 分野共通

- どちらの分野でも AI、機械学習技術の導入はほぼ必須になっている。ただし機械学習に使用するデータや対象となる市場、自社の強みなどに合わせて戦略的に細かく調整している模様。また AI のトレーニングデータの独自性をアピールしているところもある。
- Sentinel、Landsat 等空間分解能は高くはないものの観測頻度、観測範囲、データ品質、データ提供の継続性などの点で大きなアドバンテージを有する衛星データに機械学習を適用することにより、低い空間分解能に起因する問題の影響を軽減できている事例が多数あった。
- 一方、デジタル分野、グリーン分野という範囲では独自の衛星の自社保有事例はカナダの GHGSat 社以外に見られなかった。また特定の衛星とのつながりをあまり強調しない／逆にデータソースを隠しているように見受けられる企業もあった。
- キーとなる技術をコアにその周辺分野に広がる形の展開が多い。またそのキー技術の特許化しているケースも見受けられる。そう。
- スタートアップ企業として設立地の地元大学、他分野の民間企業などとの連携をしているものが多い。また要素所で公的機関の資金的援助を得ているケースも見受けられる。一方でグローバル展開に際しては展開先の地元企業や公的機関との連携を活用している。

### 2) グリーン分野について

- 炭素クレジットについては民間主導の活動も活発になっているが、その認証部分そのものについては大手の寡占状態になっており、新規参入は容易ではない。
- 炭素クレジット全般ではなく、特定の分野のクレジット(森林、農地、など)に特化した企業が目立つ。
- 認証に関する大手の民間企業に採用される技術開発を行うことが重要だろう。特に我が国の企業が強みを有する技術分野、またはアジア地域にニーズのある技術分野の見極めが必要。
- その一方で ClimateTRACE や Environmental Defense Fund などの利益を上げることを目的としない民間団体の活動も目立ち始めており、事業単位の採算性を重視せざるを得ない企業活動の持続可能性には注意が必要。

<https://climatetrace.org>

<https://www.edf.org>

### 3) デジタル分野について

- Sentinel などの公共衛星や Planet などの小型衛星コンステレーションなどの外部の衛星データを取り込み、ユーザの求めるアウトプット(空間分布を可視化したマップや時間変化を示すグラフの作成などまで)を提供するシステムを開発・運用する例が非常に多い。また多言語化やスマートフォンのアプリ化も一部で行われている。
- このため今後本分野に新規に参入する場合には、そのようなユーザ向けシステムの自社開発または他社の開発したシステムの導入に取り組む必要があるだろう。
- 一方で類似の機能を持つシステムが乱立している感もある。システムの共通化やそのために必要な相互運

用性、関連する技術の標準化が今後重要になる可能性もある。この点は NASA の地球デジタルツインの活動も参考になるだろう。

#### 4) 地球デジタルツインについて

- デジタルツインについて都市程度の空間スケールを持つもののビジネス利用事例が散見され始めているが、地球デジタルツインについては国連、欧州委員会、各国の宇宙機関／計算科学研究機関などの官需に対応した企業活動に留まっている面がある。また欧米での企業活動はスタートアップ企業より大企業が主流の模様。
- 地球デジタルツインについては、防災 DX 同様にまだ国の大規模予算に対応した推進活動のフェーズにあると考えられ、そのような国の予算計画に対応したビジネスモデルがまだ必要だろう。地球デジタルツインを直接ビジネスに活用するようになるには時間を要すると思われる。デジタルツインのビジネス利用については都市デジタルツインが先行するのではないか。
- 欧米の公的機関による地球デジタルツインでは取り組みを先行させるユースケースの調査や絞り込みが進められている。このような Early Adaptors は地球デジタルツインの初期成果の創出やその後の地球デジタルツインの加速的進化のために必要と考えられる。我が国の予算計画においてもそのような方向性が求められる。
- さらに米国では異なるデジタルツイン間の相互運用性や関連技術の標準化に向けて布石を着実に打ち、本分野における自国の優位性を高める方向に動いているように見受けられる。今後本分野に参入する場合にはそのような動向に注意を払う必要がある。
- その一方でデジタルツイン構築に必要な要素技術（例えば Digital Twin Engine や Data Lake など）の独自開発などに取り組むスタートアップ企業の育成も長期的には必要であろう。またそのような育成は都市デジタルツインなどと連携して進めることが望ましい。

#### 5) その他

- 農業などについては、クライアント(サービス利用者)に個人を含めるか、または企業(法人)に限定するかによってサービスの提供方法、規模、内容が変わるため、十分な検討が必要である。
- CONSEO では取り上げられなかった「健康・医療」分野における衛星地球観測の活用についても、大気汚染観測など要素技術が既に一定程度存在することも踏まえ、今後考慮が必要となる可能性はあるだろう。本分野の対象としては災害医療、大気汚染、紫外線など比較的短い時間スパン／狭い空間範囲のものから、感染症・風土病の予防などやや長い時間スパン／広域を対象にしたものなどが考えられる。
- スタートアップ企業が開発したユーザ向けシステムにおける源泉衛星データのデータポリシーやユーザによるシステムの利用情報(個人情報に類するものも含む)に関する規定を今後整備する必要があるのではないか。衛星データについては Landsat シリーズ/Sentinel-2 のような全球無償データ以外の比較的狭い範囲の有償データの扱いが現状不透明である。