

## 調査・分析レポート

# 民生品を活用する宇宙ビジネスの展開動向

北海道大学 大学院理学研究院 教授 **高橋 幸弘**

### はじめに

いま世界は、気候変動にも関連すると思われる大規模自然災害、人間活動に起因する大気、海洋・河川、土壌の汚染、人口の増大に伴い数十年後に訪れるとされる食糧危機など、多数の地球規模の課題を抱えている。その多くは、広域を一度に観測できる人工衛星によるリモートセンシングの対象、あるいは潜在的な対象である。しかし、従来の衛星では期待される頻度や精度での観測が必ずしも十分ではなかった。近年重量1～50kg以下の超小型衛星の打ち上げが急増している。従来の衛星は小型と呼ばれるものでも200kg以上、大型衛星は何トンにもなるので、いかに小さなものであるかが分かるであろう。この超小型衛星、現れた当初は実験的、あるいは教育的な側面が強かったが、次第に性能が向上し現在では地上解像度も従来型衛星に引けを取らなくなってきた。一番の特徴は、民生の一般部品を活用しているため低価格だが、それにより複数衛星からなる連携運用が容易になり、観測頻度を大幅に上げることが可能となった。衛星数の増加は必至であり、それにより人類はこれまで手にしたことの無い、膨大な地球情報を衛星によって得ることになるであろう。これまで宇宙開発は主として先進国の国家または欧州連合のような地域統合体が運営する宇宙機関によってリードされてきた。しかし、超小型衛星は、低価格というだけでなく、製作において従来衛星の

ような高度な技術や長い時間を必要としないため、先進国の大学の研究室や民間に加え、これまで衛星の自力開発が難しかった新興国・開発途上国にも、宇宙開発に参入する機会をもたらしつつある。超小型衛星の出現は、観測される地球情報の爆発的増加、宇宙開発の国家あるいは宇宙機関から民間への移行、そして一部の先進国から新興国・開発途上国を含む多数の国への拡大という、大きな変革をもたらすものである。これは、人類初の人工衛星スプートニク1号が打ち上げられた以降、最大のイベントであり、宇宙情報革命とも呼ぶべきものである。この先10年以内に、宇宙開発利用は、これまでとは全く別の次元に突入する。本稿では地球観測衛星に焦点を絞り、いくつかの例を挙げながら、当該分野の動向を紹介すると共に、今後のとるべき戦略について議論する。

### 人工衛星による地球観測への期待

いま世界は、様々な地球規模の課題を抱えている。気候変動にも関連すると思われる大規模自然災害、人間活動に起因する大気、海洋・河川、土壌の汚染、人口の増大に伴い数十年後に訪れるとされる食糧危機などである(図1)。こうした現象は時として広域に同時に発生、進行することに特徴がある。大規模災害や汚染地域の変化を監視し、国土の全域にわ

## 地球規模の問題解決において衛星データは本質的

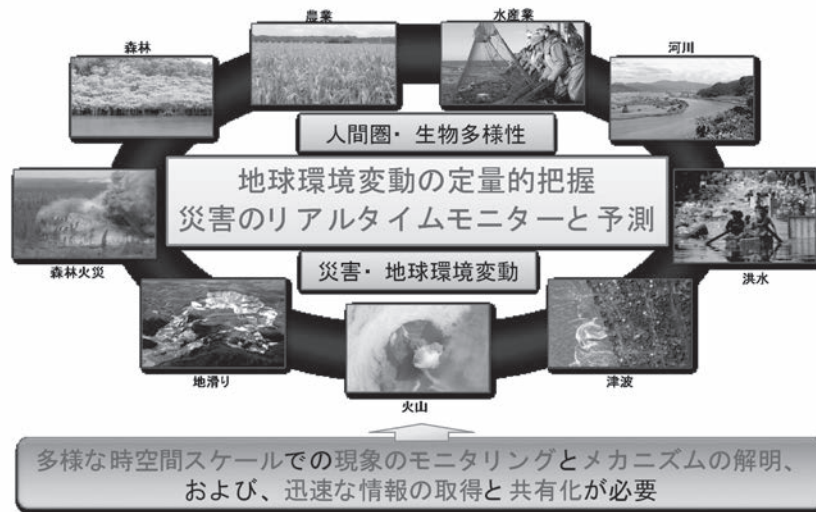


図 1. 地球規模課題の解決のために衛星による地球監視は不可欠

たって農地の様子を把握することは、地上における観測だけでは甚だ不十分であり、ドローンや人工衛星などの飛翔体の活用が欠かせない。中でも人工衛星は、カバーできる範囲の広さや、一度打ち上げてしまえば運用にかかる作業が簡便になるという点でメリットがある。ここでは、上記の衛星の観測対象について、潜在的なものも含めて概観し、従来の衛星観測の課題を整理する。

近年大型の台風が発生するたびに、地球温暖化との関係が話題になる。そこに直接的な因果関係があるかどうかはともかく、長期のトレンドとして大型の台風や豪雨は増えているとされ、今後それに伴う直接の風水害、あるいは間接的な土砂災害の増加が予想されている。開発途上国では、1つの台風で数千人、時として10万人を超える命が奪われる。しかしながら、台風や豪雨の予測は、現在の最先端のレーダーによる観測やスーパーコンピュータによる計算を駆使しても、十分な精度に至っていない。様々な要因が考えられるが、豪雨をもたらす積乱雲の正確な形状や、その発達を決める大気中の水蒸気分布の観測が十分でないことは、主たる問題の一つである。静止軌道衛星は高解像度化、高時間分解能化が進んでいるが、例えば最新鋭のひまわり8号の地上での空間解像度は、パンクロ（フィルターなし）の可視画像で500 m/画素、特定の波長のバンドでは、1～2 km/画素である。これは、典型的な積乱雲の水平幅5～10 kmに対して、その発達をモニ

ターするために必ずしも十分とは言えない。ちなみに気象レーダーの多くはやはり解像度は1～2 kmであり、最先端のより高周波のレーダーは高解像度を達成できるが豪雨の先を見通せないなどの弱点がある。水蒸気観測については、マイクロ波放射計と呼ばれる観測装置を積んだ低高度衛星が活躍してきたが、衛星の数は限られているので、実用的な豪雨の予測というよりは、広域の気候の監視、あるいは個別の現象の学術研究への貢献が主である。

森林火災は、災害として人命や財産を奪うだけでなく、大気への二酸化炭素放出の大きな要因であり、その量は全排出量の約半分に達するという見積もある。しかし森林火災の早期発見は、人家の近い一部の地域を除き衛星頼みである。ところが、高頻度観測できる衛星（TERRA など）は解像度が1 km以上と低く消火作業の支援に不十分であり、高解像度衛星（LANDSAT など）は観測頻度が16日に1回など低すぎて発見が遅れるという問題がある。

人類は様々な汚染を、大気、海洋・河川、土壌で引き起こしている。それらは、正確に把握するだけでも容易ではない。水質汚染や土壌汚染を例にとれば、現在は水や土壌の直接採取による化学分析が主流であり、計測点数や頻度に大きな限界がある。もし衛星からそれらが推定できれば、有効な対策の糧になることは間違いがない。しかしながら、現在の衛星の殆どは、水質や土壌の詳細な変化を反映すると期待される、反射・散乱スペクトルの観測を行う



図2. 新パナマ病の被害にあったバナナ農園（右下）とバナナの葉のスペクトル計測（左上）

ことができない。

世界の大規模農業、特にバナナ、ゴムの木、オイルパームなどのプランテーションは、常に病気の感染の脅威に晒されている。バナナは1950年頃に感染爆発したパナマ病により、それまで大半を占めていたグロスミッチェル種が壊滅的被害を受け、キャベンディッシュ種に入れ替わるといったことが起きた。現在フィリピンではキャベンディッシュ種に被害を及ぼす新しい病気（新パナマ病）が広がっており、日本でのシェアを急速に落としている（図2）。ゴムの木は、以前はブラジルで盛んに栽培されていたが、病気によって完全に廃れ、現在は東南アジアが生産量の9割を占めることになった。こうしたプランテーションは規模が大きく、例えばマレーシアのオイルパーム農場は一区画が10 km四方あると言われている。したがって、農場全体を高頻度で人が見回することは困難である。また不用意に人が歩くことで、土壌中の細菌を拡散してしまうことも懸念される。今後気候変動による大規模な病害虫の被害は増大する可能性があり、こうした病気の発生を早期に発見することは、喫緊の課題の一つである。しかし、人工衛星データの実利用は初歩的段階に止まっている。その理由は、多くの衛星に搭載されているバンド（観測波長）の数が少なく、十分なスペクトルデータが得られず、推定精度が向上しないからである。例えば、リモートセンシングで広く使われている正規化植生指数（NDVI）では、かなり病気の進行した

オイルパームの木と健康なそれとを見分けることすら困難である。多波長でのスペクトル計測は、航空機観測による数多くの例でその有効性が確認されており、病害虫だけでなく収穫量や収穫時期の予測にも有効であることがわかっている。しかし、従来の衛星では十分なスペクトル情報が得られず、また高度なスペクトル観測のできる衛星は、観測頻度が極めて低く、農作業への応用は困難である。

農産物生産全体について言えば、このままいけば、30年後には、世界の食料は必要量の半分くらいしか確保できないとされている。作物の増産の方法はいくつも検討されているが、施肥の時間的制御は収量の飛躍的増加に有効という報告がある。そうした手法を実用化するには、土壌や作物の生育状況を時々刻々把握することが必須であるが、現状では手作業で化学分析を行うしかなく、大規模な展開が見込めない。衛星による高度なスペクトル観測の頻度が上がれば、こうした技術の普及も夢ではない。

## これまでの衛星観測の限界

上に示した例は、潜在的衛星データ利用のごく一部である。衛星による地球観測は、今後の人類が気候変動を含む様々な困難を乗り越えるための必須のツールの一つであることは疑いの余地がない。しかしながら、これまでの衛星の地球観測では、課題の