

◆令和3年度 第1回（通算第86回）蔵前ゼミ 印象記◆

日時：2021年4月30日（金）

ZOOMによる遠隔講義

東工大発超小型人工衛星ベンチャー企業の挑戦

— 宇宙と衛星データの民主化 —

宮下 直己^{なおき}（2001 機械宇宙, 2003MS, 2006Dr）

アクセルスペース株式会社 共同創業者・取締役・CTO（最高技術責任者）

祖母が見せてくれた一枚の切り抜きが宮下さんの将来を決めた。わずか4歳の時のことだ。その（おそらく雑誌からの）切り抜きには宇宙から見た地球が写っていた。自由にのびのびと育てていた直己坊やだったが、好奇心は旺盛で『宇宙』に一目ぼれしてしまったのだ。宮下さんは長野県の農村で育った。星空がとても綺麗だったそうだから、『宇宙』は宮下少年の心の中で膨張を続けたのだろう；「将来は宇宙飛行士になりたい」と思うようになった。片田舎で塾に通う習慣もなかったので勉強は学校中心で、家に帰れば農作業の手伝いに追われた。農閑期にはサイクリングを楽しんだというから、精神と肉体を「宇宙飛行士仕様」に鍛えるには理想的な環境だった。中学を終える頃になると宇宙の夢をかなえるには『大学進学』も必要ではないかと思い始めたが、学力には自信がなかった。ところが、高校1年の最初の実力試験で、思いのほかの好成績をおさめることができ、「塾に頼らない独学でも、大学には入れる！」とやる気スイッチが入った。不思議な巡り合わせで、丁度この頃、本学に「機械宇宙学科」ができていた。本学に入ってからからは猛烈に勉強し、大学院では研究室に泊まり込み、月に2~3回しか下宿に帰らないほど研究に熱中した。この頃になると目指す職業は“宇宙飛行士”から“NASAかJAXAの技術者”へと変わりつつあった。

卒業研究で研究室に所属した頃に、これもタイミングよく超小型衛星（10 cm 立方, 1 kg 以内; 名称は CUTE-I, 一般名は CubeSat）を作るという国際的な学生コンペが始まり、参戦することになった。仲間と一緒に3年がかりで作上げた手のひらに乗るような衛星がロシアの宇宙基地から打ち上げられ、軌道に乗って、無事地上に電波を送

り届けてきたときは、「体中の細胞という細胞が興奮している」感じを味わったそうだ。これもチャンスを与えてくれた大学のお陰と感謝するとともに、何の迷いもなく博士課程に進学し、研究の傍ら第二の CubeSat（Cute-1.7 + APD）を成功させた。学生が、しかもそんな小さな箱の中に衛星に必要な種々の機器を詰め込めるはずがないという風潮の中、世界初の快挙を成し遂げた経験は宮下さんを大きく成長させ、起業を決心させた。2008年に CubeSat 仲間3人で創業したアクセルスペース（Axelspace）社は、今や国際色豊かな大所帯（20カ国 総勢90人）となり、超小型衛星で私たちの暮らしを便利で持続性のあるものに変えてくれている。

生い立ち

農作業で人格形成

宮下さんが生まれ育った長野県上田といえば戦国武将「真田幸村」を思い出す人も多かろう。NHK大河ドラマ「真田丸」(2016)で好きになった人も多いかも知れない。徳川家康が最も恐れた武将といわれ、忠義と人情にも厚かった。そんな真田幸村の遠縁ではないかと思いたくなるような雰囲気醸し出しつつ、弁舌さわやかな話しぶりだった。宮下さんは農家の出身で小さい頃から農作業を手伝った。大学生になっても農繁期には実家に帰って田植えや稲刈りを手伝ったそうだ(図1)。「片田舎で星空がきれいだった」というから、恵まれた環境で育ったことになる。間接的にはあるが郷里が誇る歴史上の人物から薫陶を受け、農作業を手伝う中で得たもの(体力・持久力・忍耐力・勤勉さ)は宮下さんの人格形成にかけがえのないものだったに違いない(表1)。



図 1. 宮下家の田植えの様子〔2017 年頃, 手前が帰省して手伝う直己さん〕

4 歳の時に、祖母が雑誌に載っていた 1 枚の写真を見せてくれた。宇宙に浮かぶ地球の姿をとらえたものだったが、それが“なおき (宮下直己)” 坊やの心をとらえ、次第に占領していった。ほどなく「大きくなったら宇宙飛行士になりたい」と思うようになったのだ。学習塾があまりなく、塾に通っている子もほとんどいないのんびりした地域だったので、学校が終わると豊かな自然の中でマウンテンバイクを乗り回して遊んだ。自転車は今に続く趣味だが、社会人になってからは大事な日課にもなっているそうだ (図 2)。しかし気づいてみると、このままでは学力不足で宇宙飛行士にはなれないのではないかと心配になってきた。転機は、上田高校に入学した直後の「実力テスト」だった。思っていた以上の高得点が取れ、独学でも大学入試を突破できそうだという感覚がつかめた結果、勉強のやる気スイッチが入ったのだ。

学生時代は「研究バカ」

努力の甲斐あって 本学の 4 類に合格し、親元を離れて 東京の高円寺にある「長野県出身者用 学生寮 (信濃学寮)」に入ることになった。昼間は まじめな東工大生と一緒に勉学に励み、夜は理系・文系を問わず都内の大学に通う寮生たちとの付き合いを通して社会性を身に付けることができた。いろいろな文化交流もあり寮生活は楽しかったそうだ。寮は 4 年間で限度だったので、大学院への進学とともにアパートでの一人暮らしが始まった。とは言っても、アパートに帰るのは月に 2~3 回程度で、あとは研究室に泊まり込んで研究に打ち込んだ； 電気代が基本料金 350 円に使用料 150 円をプラスして月 500 円程度だったというから驚きだ。機械系の研究室が入っている石川台 1 号館の地下にはシャワーと洗濯機があって、寝袋生活でも困らなかったようだ。わずか 15 年ほど前の話だが、徹夜実験などは厳しく制限されている今の学生には“研究室に寝泊まりし、研究に没頭した話”は、驚きだったに違いない。驚きといえば、学部や修士の卒業式に出ずに実験していたそうだ (さすがに修士の時は専攻長に怒られたらしい)。博士課程では日本学術振興会の特別研究員 DC2 に採用され金銭的に余裕が出たので、趣味と実益を兼ねてアルバイト的にやっていた色々な会社のシステム開発をやめることにしたので、研究漬けの毎日となった。

表 1. 宮下直己の略歴

年	学年・所属	特筆事項
1978	誕生	長野県の農家(農作業で <u>人格形成</u> , 学生時代は農繁期には手伝いのため帰省)
1982	4歳	祖母に見せられた1枚の写真で宇宙の虜に
1993		東工大に「 機械宇宙学科 」設置
1994	高1	最初の試験で手応え→心のスイッチONに→ 独学で受験
1997		4類・機械宇宙学科: 勉学に励む傍ら、長野県出身者用 学生寮での 幅広い付き合いで <u>人間形成</u>
2000	東工大	卒研・修論: 松永三郎 研究室に所属; 超小型衛星コンペ(CubeSat)と運命の出会い
2003		Dr: CubeSatで世界初の栄冠達成; 何の迷いもなく博士課程へ、寝袋生活で研究に没頭
2006	NICT	博士号取得; 情報通信研究機構(NICT)研究員; 起業のための準備期間
2008	起業	CubeSatで交流のあった東大(中須賀 真一 研究室)の学生と一緒に Axelspace を創立
2009		「茶の湯」を始め、2018年に準師範の「許状」を家元から取得
2019	新事業	Axelspace社の第2の事業軸として AxelGlobe (小型衛星による地球観測インフラ)サービスを開始



図 2. (A)趣味の自転車で渋峠・日本国道最高地点〔国道 292 号線「志賀草津高原ルート」の最高地点〕に出かけた時の一枚。自転車は大学生・大学院生の時は中断していたが、社会人になった時に再開した。選手としてフルマラソンやトライアスロンに参加したこともある。(B)茶の湯も師範の腕前。始めたのは起業後で、きっかけは「お茶」よりは「茶人」に惹かれたからだそうだが、始めてみると、究極の簡素さの中に洗練された精神世界を実現すべく、茶道具はもとより炭の種類・寸法・使い方などにまで心を砕く様子は、まさしく超小型衛星を作り上げる過程や考え方と同じで“茶の湯”も『工学』であることを実感しているようだ。工学部の学生には、是非 茶の湯をマスターして欲しいとのことだった。

禅語「^{にちにちこれこうにち}日日是好日」に学ぶ日課：農家の人にとっては、作物が順調に育ち収穫の時を迎えるという日常の営みそのものが無上の喜びゆえ、農家育ちの宮下さんが「日日是好日」(毎日が良い日だと思える境地)を座右の銘としているのは納得だ。宮下さんは、この禅語を「日々の努力で毎日をよい日に変えていこう」と能動的に解釈し、起業後から 2 年前に結婚するまで自分に次のような日課を課していた。(i)毎朝 5 時に起き、入社する前に自転車に乗って東京湾まで行き写真を撮り、(ii)仕事を終えて帰宅すると、お茶をたてて今日の出来事を振り返る。そうすると、習慣化しているが故に、その日の出来事や心状によって お茶を立てる行為にも微妙な変化が現れることに気づき、明日の仕事によりよく対処できるようになるそうだ。ルーティン化によってもたらされる僅かな変化の気づきによって未来を予測できるのではないかという考えは、Axelspace 社の AxelGlobe 事業(地球全体の衛星画像を毎日取得し、過去の蓄積データと比較することにより、変化を抽出し、未来予想に活用する)に通じるものがある。

CubeSat との出会い 世界初を達成し NHK のニュースに

キャン サット まず CanSat から

どの分野にも名物教授はいる。当時スタンフォード大学にいたボブ・トウィグス (Robert J. Twiggs; Robert の愛称は Bob) 教授はその筆頭かも知れない。宇宙工学を専攻する学生の教育プログラムの一環として、日米の学生による衛星開発プロジェクトを企画・運営するための第 1 回シンポジウム (University Space Systems Symposium, **USSS**) が 1998 年にハワイで開かれた。その席上、Twiggs さんは突然コーラの缶を掲げながら、「これを衛星にして打ち上げよう！」と提案した(後に Can + Satellite

に因んで CanSat と命名)。当時の宇宙工学科ではコンピュータ シミュレーションで宇宙工学の基礎を学ぶのがせいぜいで、衛星など作ったことのない学生ばかりゆえ、無茶な話だった。しかし、あきれ顔の学生たちを “You can do it!” と説き伏せて、従来の衛星設計コンテストを実際の衛星製作コンテストにステップ アップさせることに成功し、今日に続いている。翌年の第 1 回 CanSat コンペには日本からは東工大と東大が参加したが、半年間ほどの準備期間中は『地獄』のような生活で、関係者は週に 2 日ほどしか家に帰れなかった；その分、成功した時の喜びはひとしおだったようだ。

当初計画では CanSat を軌道上に打ち上げる計画だったが、軌道に届くロケットを提供してくれる



図 3. 超小型・超格安人工衛星 (CubeSat)。 (A) 東工大チームが開発したキューブサット CUTE-1。 (B) 打ち上げを前にスタンバイする東工大チーム (右 7 名)・東大チーム (左 6 名) とそれぞれの衛星 XI-IV & CUTE-1; 前列 左から: 永井将貴, 宇井恭一, 中列 左から: 武井エルネスト利之, 中田賢治, 松永三郎 教授, 後列 左から: 程毓梁, 船瀬龍, 永島隆*, 宮下直己*, 澤田弘崇, 中谷幸司, 此上一也, 尾曲邦之; この他, 写真には写っていないが打ち上げ時に立ち会う後発組として, 中村友哉* (東大), 占部智之 (東工大), さらに東大の主要メンバーとして津田雄一, 酒匂がいた。*印は Axelspace 社設立に関わった人。 (C) ロシアのプレセック宇宙基地からの打ち上げの様子。打ち上げが近づいた時のプレッシャーと成功した時の喜びは経験した人には分からないようだ。

宇宙事業団が見つからず, アマチュア ロケット グループが提供する固体ロケットを使って, 高度 4 km まで打ち上げ, パラシュートで回収する間にミッションを遂行する方式に変更され現在に至っている。それでも教育効果は絶大だった。

缶 (CanSat) の次は サイコロ (CubeSat)

CanSat の成果報告が主題だった 1999 年の第 2 回 USSS の席上で, またもや Twiggs さんが突拍子もないことを言い出した。今度は 1 辺 10 cm のサイコロ型をした超小型衛星を作り, 軌道に投入しようというのだ。しかも重さ制限は 1 kg 以内。再び “You can do it!” という魔法をかけられて, CubeSat プログラムがスタートすることになった。丁度, 宮下さんが卒業研究で松永三郎 研究室 ([本ゼミ第 74 回の注 1 & 2 参照](#)) に所属することが決まった時だった。

Twiggs さんに実際に会ったことのある先輩たちは, 彼のことを, ホラに近いことを自信たっぷりに話す勇ましいオッサンととらえていたようだが, CubeSat が提案されたときは CanSat の時ほどの驚きや戸惑いはなかったようだ。CanSat (缶型衛星) の経験から, 四角い CubeSat (サイコロ型衛星) の方が市販の電子基板を詰め込み易いし, 350 ml のジュース缶と比べると容積が 3 倍近くあるか

ら何とかなりそうだと思えたからだ。しかし よく考えると, 当時の衛星は小型のもの (マイクロ サテライト) でも重量は 50~100 kg だったから, 1 kg 以内というのは とんでもない要求で, 前途に待っていたのは傍からは見ると『地獄』の日々だったが, 当人たちは魔法にかかっているもので, 逃げ出すこともなく, 月に 2~3 日しか家に帰らず, 時には寝袋に入らず徹夜で, 挑戦を続けた。宮下さんが担当したのは「衛星の電源系」と「衛星と交信するための地上局の設置」で, 構造系・搭載計算機系・センサー系・通信系などの担当者と連携しながら仕上げていった。打ち上げロケットの確保の問題等もあって, 最終的には 3 年半後の 2003 年 6 月 30 日にロシア連邦のプレセック宇宙基地から打ち上げられた (図 3C)。同ロケットには CubeSat としては次の 5 機が搭載されていたが, 軌道上で正常に作動しミッションを遂行できたのは東工大と東大の CubeSat だけだった (図 3B): [1] 東工大の CUTE-1 (図 3A), [2] 東大の XI-IV, [3] トロント大の CanX-1, [4] デンマーク工大の DTUosat-1, [5] デンマーク・オールボー大学の AAU CubeSat。 (参考: スタンフォード大は 3 倍サイズの衛星 QuakeSat を搭載し成功させている。)

当時の人工衛星というと数百億円が相場だったから, 宮下さんたちが 秋葉原から携帯電話や PC やデジカメの部品を調達してきて, 200 万円で衛星を作り上げたというのは衝撃的なニュースだった。

NHK NEWS『おはよう日本』で、「手づくり人工衛星 打ち上げ成功」と題して1分40秒近くにわたって放送され全国に知れわたった。それ以来18年、今やCubeSatコンペは、宇宙工学の教育プログラムとして世界的に定着している。宮下さんたちの成功は、宇宙が身近になったことを示す出来事として、宇宙開発史に刻まれるだろう。◆ 宮下さんの話に耳を傾けながら、「物語の世界では魔法の言葉は“開けゴマ！”だが、教育の世界では“You can do it!”だ」と思った。小惑星「リュウグウ」からサンプルを持ち帰ることに成功し、私たちを感動させてくれたJAXAの「はやぶさ2」プロジェクト・メンバーの多くも学生時代に“You can do it!”の魔法にかかった人たちだ。

日本チームの取り組みの一部始終をまとめた『キューブ サット物語』^(注1)が刊行されているので参照されたい。宮下さんが「達成感や連帯感が入り混じった、言葉ではとても言い表せないような感動を味わえたのは、自分以上に頑張ってくれた仲間がいてくれたお陰です」と称えるプロジェクトメンバーたち(図3B)の活躍も紹介されている。よきライバルとしての東大チーム(航空宇宙工学専攻の中須賀 真一 研究室)との競争と協調も短期間に難事業を仕上げるためには大切な要素だったようだ。東大チームとの理想的な関係は、後にベンチャー企業“アクセルスペース Axelspace”を立ち上げる際にも大きな役割を果たすことになる。

アクセルスペース (Axelspace) 社を起業

はやる気持ちを抑えて助走

上記の東工大・松永 研究室と東大・中須賀 研究室はもちろんのこと、国内の他大学も加わって、学生によるCubeSat開発プログラムは国内的にも認知度は高まっていった。宮下さんは博士課程で第2号機(Cute-1.7+APD, 2006.2.22 打上)の開発にも成功し、超小型衛星を超格安で作る自信を付けた。こうして、博士課程修了の頃には、小さい頃からの夢だった「JAXAなどの宇宙機関への就職」よりは、自分たちでゼロから衛星を作る会社を起業できるのではないかと考えるようになった。すぐにでも起業したい気持ちだったが、恩師の松永 教授や学生時代から交流のあった東大の中須賀 教授のアド

バイスもあって、先ず有力な顧客候補を見つけてから、東大の学生と一緒に起業することにし、NICT(情報通信研究機構)の研究員の傍ら、超小型衛星を買ってくれそうな企業を探すことにした。

最初の顧客は 気象会社

ベンチャーといえども顧客なしにはビジネスは回らない。いろんな企業に「衛星を買いませんか」と売り込みをして回ったが、なかなか厳しかったそうだ。1年半ほどしたところで、民間の気象会社「ウェザーニューズ」(Weathernews Inc.)が乗り気になってくれた。従来衛星は安くても100億円で、とても自社専用の衛星は持てなかったが、2~3億円ならば採算が取れると踏んだのだ。ウェザーニューズ社の目的は、自社衛星による北極海 航路のモニタリングだった。

北極海は氷に覆われているが(図4A)、地球温暖化の影響で夏場は周辺部の氷がとけ(図4B)、船が通れるようになる。この傾向が強まりつつあるのは一般的には心配すべきことだが、海運会社にとってはチャンス到来となる。なぜか。横浜港とオランダのロッテルダム港を結ぶ航路について考えると分かりやすい。スエズ運河を通る南回りとは北極海を通る北回り航路を比較すると、南回りの航行距離が2.1万kmであるのに対し、北極海航路は1.4万kmで、約 $\frac{2}{3}$ となる(図4C)。現在の南回り航路では約30日間かかるから、北極海航路では約20日となり、10日間も短縮できることになる。大型のコンテナ船やタンカーの1日当たりの燃料費は数百万円だそうだから、片道で数千万円も安くなるゆえ、魅力的なのだ。北極海を衛星で監視することによって、海運会社に最適な航路を提供するビジネスを始めるためにウェザーニューズ社は宮下さんたちの超小型 格安衛星を持つことにしたのだ。この契約のお陰で、それまで温めていた構想(Axelspace社の起業)を形にすることができた(2008)と宮下さんは感謝していた。恩人ともいえるべきWeathernews社の故石橋博良(1947~2010)会長は、よく『How wonderful!^(注2)から始め、無常式で考えよ』と言っていたそうだ。

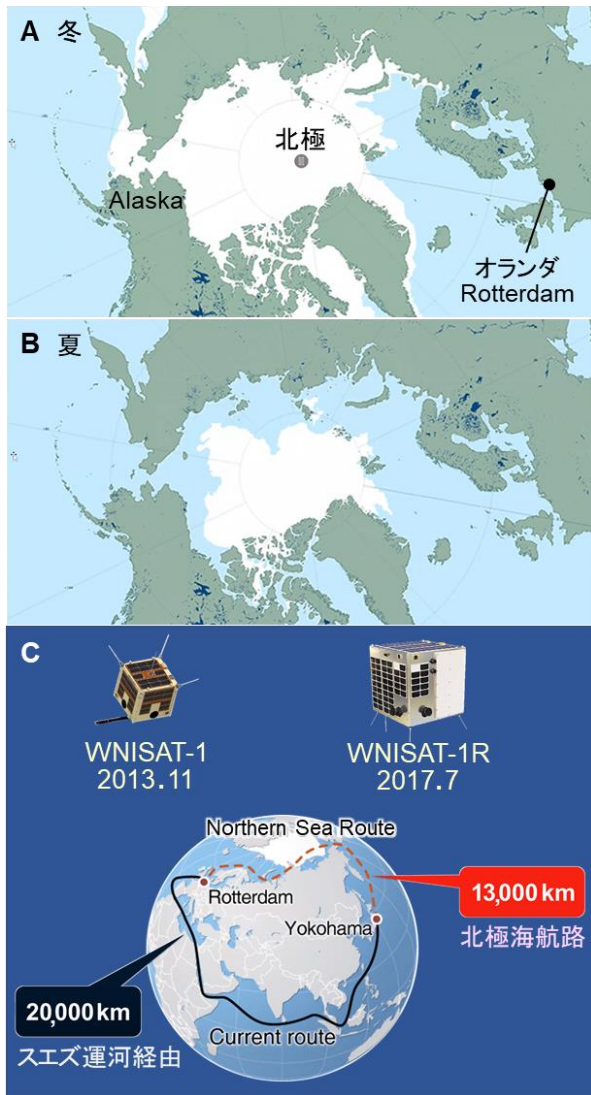


図 4. 北極海航路の活用に備え、Weathernews 社が購入・運用中の超小型衛星。(A) 氷に覆われた冬季の北極海のイラスト。(B) 夏季の北極海。周縁部の氷が解け、船が通れるようになる。(C) 横浜港とロッテルダム港を結ぶ南回り航路と北極海航路の比較、及び北極海をモニターするための衛星 (WNISAT-1 & WNISAT-1R)。

第 2 の事業 AxelGlobe で大きく発展

CubeSat 経験者 3 人(東工大 松永研と東大 中須賀研出身者)で Axelspace 社を創立した当初は文京区の NPO 法人のガレージに間借りしていたが、千葉県柏市のオフィス、神田のオフィスを経て、2017 年には日本橋に居を構え、大都会の真ん中で衛星づくりに取り組んでいる。当初 3 人だったスタッフも 90 人に増え、2019 年には JAXA に RAPIS-1 衛星を納品するなど (図 6 の⑤)、極めて順調に発展して来たように見えるが、途中では困難にも直面したそう。衛星を買ってくれる企業が期待したほど

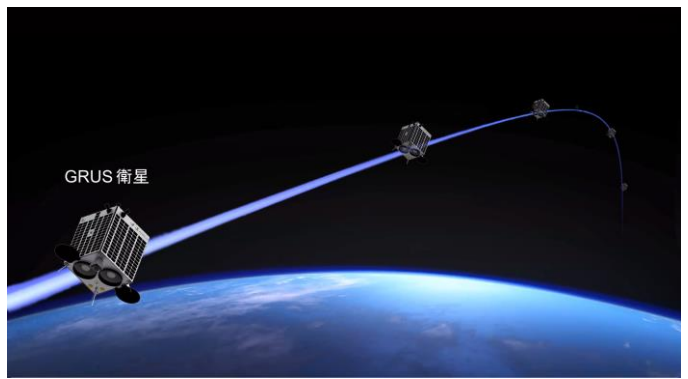


図 5. 多数の超小型衛星からなる全地球観測網の構築。Axelspace 社の第 2 の事業 AxelGlobe では、^{グルース}GRUS衛星 (図 6、④) 20~30 機を 600 km 上空の軌道に数珠つなぎ状に配置することにより、地球全体のスキャンを可能にする計画であるが、まずは 10 機で地球の任意の地点 (anywhere) を毎日撮影できる体制を整える。気象衛星「ひまわり」(35,800 km 上空) などと比べると高度が低く、高分解能かつ立体的に優れた画像を得ることができる;撮影幅は約 55 km。すでに 5 機を投入済みで、地表全体を 2~3 日に 1 回撮影することが可能になっているが、今後 2023 年までに、残りの 5 機を追加し「世界どこでも 1 日に 1 回撮影可能」な体制を構築する。GRUS 衛星の大きさ: 60×60×80 cm, 重量: 100 kg, 従来の衛星で同性能のものは 1.5 トン。AxelGlobe は農業・海洋監視・局地気象予報・都市計画・工事進捗管理・公害や違法伐採の監視など多方面での活用が期待される(図 7~12)。

増えなかったのだ。営業に回ると、人工衛星の画像を使えば、都市機能や農作物の生育状態など種々のモニタリングが出来るようになり非常に便利なことはすぐ理解してもらえるのだが、「衛星画像は欲しいが、衛星を保有するほどではない」という顧客が圧倒的に多く、衛星を売るビジネスから衛星によって得られる画像情報を売るビジネスへと発想の転換を迫られた。

個人で衛星を所有する場合には、目的にあった特定の場所をモニターすればいいので、衛星は 1~2 個ですむが、衛星画像やその解析結果を不特定多数の顧客に提供するとなると地球表面全体を毎日限なく撮影する必要が出てくる。そのためには、一つの軌道に 20~30 機の衛星を投入し、数珠状

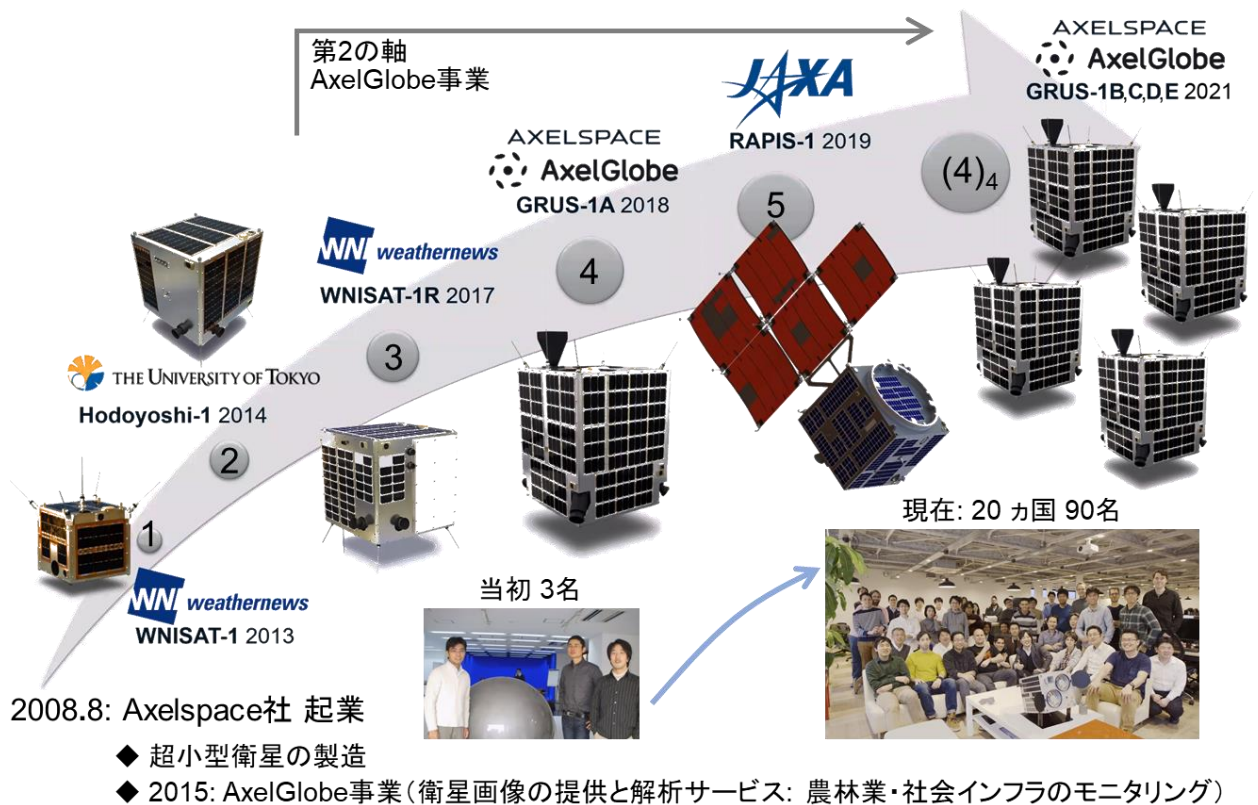


図 6. 東工大・東大発ベンチャー (株)Axelspace の沿革。2008 年の創業以来, 超小型人工衛星 9 機(5 機種+4 機量産)の実績を有する。Axelspace 社の“Vision and Mission”: [Space within Your Reach](#)—超小型衛星技術のパイオニアとして, 宇宙ビジネスの先頭に立ち続けることで, 従来の宇宙利用の常識を打ち破り, 地球上のあらゆる人々が当たり前のように宇宙を使う社会を創る。2015 年に開始した第 2 の事業(AxelGlobe)では, [“Sensing the world, changing the future”](#) をモットーにしている。今後は AI スタッフを増やし, データ解析にも力を入れていく。

の衛星観測網を構築しなければならず (図 5), Axelspace 社が多数の衛星を自己資金で打ち上げ運用することが不可欠となる。資金調達という頭の痛い問題が出てくるのだ。そんな時に, Axelspace 社に注目してくれていたエンジェル投資家 (Angel investor, 創業したての企業に資金を提供する富裕個人投資家) から資金援助とビジネスの展開の仕方についてアドバイスがあり, 会社経営の第 2 の柱となる AxelGlobe 事業が無事立ち上がった (2015)。

アクセルグローブ (AxelGlobe) 事業の魅力

宇宙と衛星データの民主化で SDGs (Sustainable development goals) に近づく

AxelGlobe で何ができるのか

まず AxelGlobe 事業の主役ともいえるべき衛星 (GRUS) から送られてきた最近の画像を見ておこう (図 7)。2.5 m の分解能で地上の様子が鮮明にとらえられている。このような写真を少しずつらしながら連続で重ねていくことにより地球全体をスキャンするというシステム AxelGlobe が構築できると 同じ地点を毎日撮影でき, かつ過去の蓄積データと比較できるので, 例えば [1] 農地に着目すれば, 作物の生育状態からどの田畑に水や肥料を施すべきか, あるいは今がちょうど収穫時だというように農業の最適化ができ (図 8); [2] 港

湾地域の画像からは、船（図 9）やコンテナの数を数えることによって、貨物の積み具合が分かり、どの港でいつ荷下ろしをするのがよいかというロジスティックの最適化ができ；[3] 軍事基地・工業地帯・火山・社会インフラ（図 7）などを毎日観察し、昨日なかったものが今日現れたとか、ここ数日の変化傾向から近未来を予測し、適切な手を打つことも可能になる；さらに [4] 地震や暴風雨などの災害状況の把握にも力を発揮するなど（図 10）、挙げていけば切りがないほどの恩恵を私たちにもたらしてくれる。多数の衛星を投入して初めて可能となる地球全体の日単位でのスキャンニングは、低コスト衛星を最大の武器とする宮下さんたちの強みだ。収集される膨大な衛星画像を AI 技術で迅速に分析できるようになれば、まさしく AxelGlobe の標語どおり “Sensing the world, changing the future” 時代の到来となるだろう。

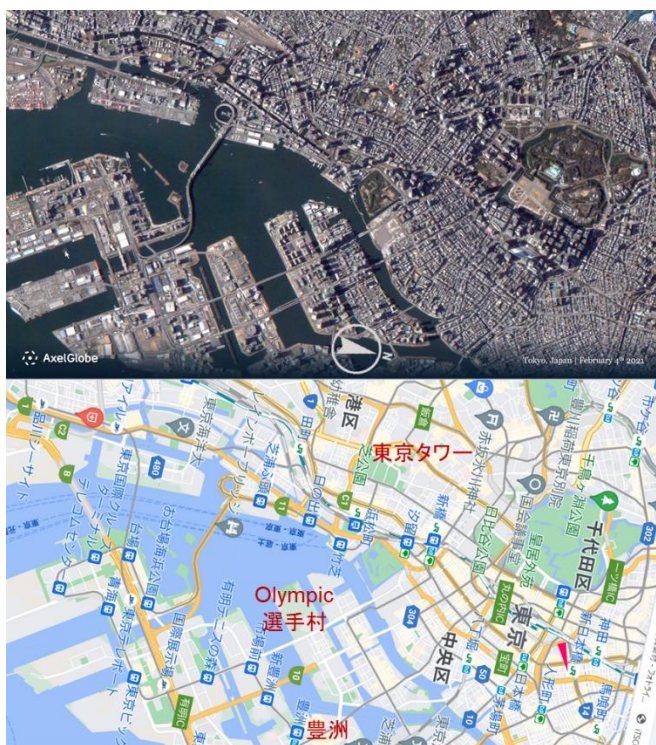


図 7. 東京の衛星写真(2021年2月)。オリンピックの選手村が完成しているのが見てとれる。Axelspace社はJR「新日本橋」駅のすぐ近くにある。撮影：Axelspace社のAxelGlobe事業を担うGRUS-1A衛星(図5, 図6の④)；分解能は2.5mに設定されているが、これは2m以下になると法的認定(注3)が必要になり、手続きが面倒になるからだそうだ。



図 8. ブラジルのさとうきび畑。(A)通常の RGB カラー画像、(B)人の目には見えない近赤外線 NIR を用いた解析によって「植生指数」(NDVI = Normalized difference vegetation index)を算出した例；さとうきびの生育具合が色の違いで表示されている。

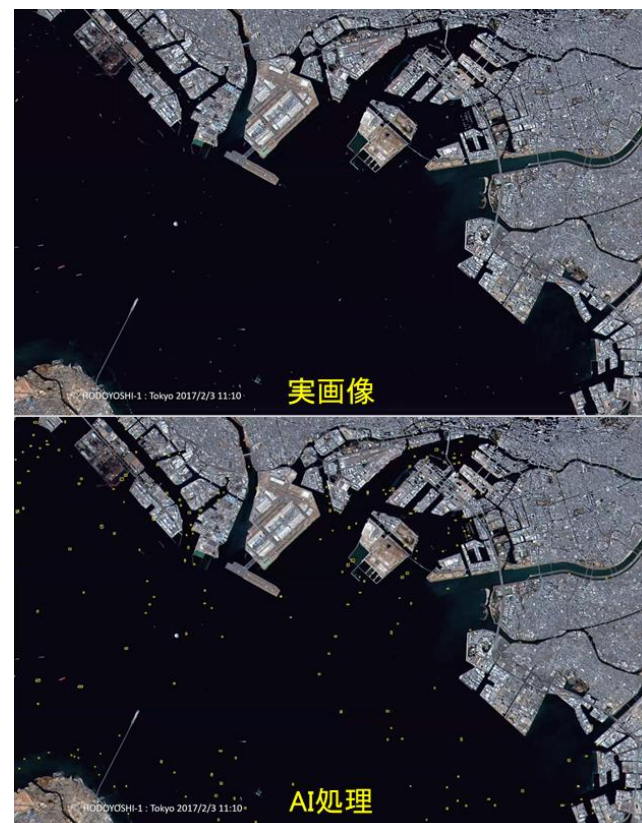


図 9. 東京湾周辺の都市・港解析。都市部の衛星写真は膨大な情報を含むゆえ、人の目による解析では追いつかない。そこで、人工知能 AI を駆使した被覆分類によって、建物・道路・港などを区別する必要がある。(上)実際の画像、(下)AI 処理によって船を検出した例。

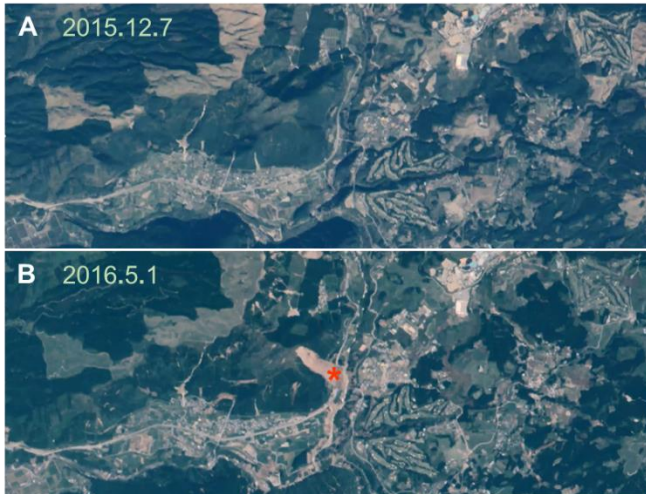


図 10. 熊本地震の前(A)後(B)の衛星写真。*印の大きな地滑り箇所以外にも、多数の地滑りが起きていることが分かる。

衛星データの民主化とは

巨悪を許さず、持続可能な開発目標 SDGs を達成

前節の話では、衛星データが、天気予報と同じように、私たちの日常生活の隅々にまで入り込んで来つつあり、もはや一部の専門家や国家のものというよりは、私たちの生活を支える社会インフラの1つになりつつあることを学んだ。宮下さんたちが期待するように、AxelGlobeは気象予報士に続く新しい職業（火山予報士、赤潮予報士、収穫アドバイザー、ロジスティック コンサルタント etc.）を次々と生み出し社会を変える力になるに違いない。これらも衛星データの民主化の一面ではあるが、真の意味での民主化は次節で述べるようにSDGs（Sustainable development goals, 国連が掲げた17の持続可能な開発目標）の達成に極めて重要な役割を果たしつつあることだろう。

自然環境と生物多様性の維持に大きく貢献しているジャングルの違法伐採（図 11）や工場からの排ガスによる大気汚染（図 12）などは、私たちの生存にとって脅威となっている。持続可能な社会の実現を目指して、2015年9月の国連サミットで2030年までに解決すべき重要な課題として採択されたのがSDGsで17項目からなる。SDGsを標榜しない企業は、もはや存続できなくなりつつあるが、それでも厳しい競争環境下ではズルをする組織や企業が後を絶たず、2030年までの達成は危ぶまれている。ここで強力な助っ人として登場したのがAxelGlobeのような衛星観測システムというわけだ。



図 11. 森林の違法伐採の抑止。取締官が容易にたどり着けないようなジャングルの奥地でも衛星で毎日監視していれば、違法伐採の芽を摘むことができる。

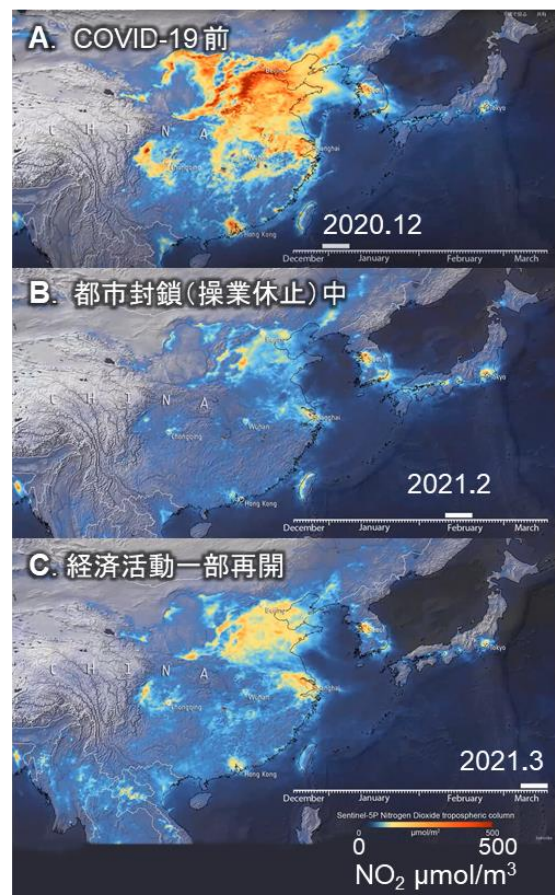


図 12. 東アジアからの二酸化窒素(NO_2)の放出状況。中国では、生産活動を反映して、コロナ禍の前(A)、最中(B)、及び回復期(C)で大きな変化がみられる。このようなデータを継続的に公開すれば、公害に対する国際的な圧力となり、SDGsの達成が早まるだろう。画像はCopernicus Sentinel-5P satelliteによって取

得され、European Space Agency(ESA)から公開されている。

出典: Nitrogen dioxide emissions over China
<https://www.youtube.com/watch?v=6DWBhpkOI>

超小型衛星は私たちの未来を救う

図 11 はブラジル上空からの衛星写真だが、はっきりと森林の大規模伐採がとらえられている。図 12 では、コロナ禍 (COVID-19 パンデミック) の前では活発な生産活動を反映して二酸化窒素 NO₂ の排出が公害レベルであることが分かる (A)。それが、都市封鎖された期間では正常値に戻り (B)、経済活動再開と同時に再び大気が汚染されていく様子が鮮明に映し出されている (C)。このような画像が毎日公開されていけば、フェアでない組織・企業・国家には無言の圧力となるだろう。つい最近のニュースでは、世界展開する大手 IT 企業や食品会社が SDGs に配慮していない生産者からは原料や部品を調達しない方針にしたことや、銀行が株主の意向に押されて従来方式の火力発電所の建設には融資をしないと発表したなどと伝えられている。

講演の部では、時間の制約から軽くしか触れられなかったが、その後のパネルディスカッション^(注4)での補足説明から、SDGs が今回の重要なキーワードの一つだと感じた人も多いだろう。企業は利潤を追求するだけでなく、その活動が社会に与える影響についても配慮する必要があるが、衛星画像がこの流れを加速してくれるのは間違いない。私たちの未来は AxelGlobe の様なプロジェクトにかかっているとと言っても過言ではないだろう。パイオニアである宮下さんたちには、今後もよりよい衛星・搭載カメラ・AI 画像解析技術などの開発を通して、この分野の先頭を走り続けて欲しいものだ。一日でも早く、日本橋発の“AxelGlobe Map”や“AxelGlobe Earth”ができることを願おう。

(注1) 川島レイ, 「CubeSat 物語」, 2003 年 6 月,
<http://www.unisec.jp/cubesatstory/index.html>

単行本にもなっている: 川島レイ, 『キューブ サット物語—超小型手作り衛星、宇宙へ』, エクスナレッジ, 2005 年。◆以下は出版社による宣伝文:

1999 年 11 月, 東京大学と東京工業大学の学生たちが、人工衛星を作るプロジェクトに取り組み始めました。それが、1 辺 10 センチメートル, 重さ 1 キログラムの超小型人工衛星「キューブサット」です。宇宙工学を学んでいる学生たちとはいえ、実際に宇宙へ打ち上げる人工衛星を作るなど初めてのこと。苦労に苦労を重ねつつ, 何とかキューブサットを作り上げます。打ち上げロケットの確保も二転三転しましたが, 2003 年 6 月, キューブサットはついにロシアのロケットで宇宙へ打ち上げられました。打ち上げは見事成功し, 2 つのキューブサットは 18 年近くたった今でも, 高度 800 キロメートルの上空から画像などのデータを送り続けます。世界初のプロジェクトとなった学生による人工衛星打ち上げまでの 3 年半を追うドキュメントです。



(注2) How wonderful: 自分自身が心から素晴らしいと思えること。

(注3) 衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律 (平成 28 年法律第 77 号)。この法律は国内法であるが, 世界的に横並びであり, 実質国際的に 2 m を切る解像度はデータの扱いが大変となる。ただし, 将来的には Axelspace 社で解像度 2 m を切る衛星を作る可能性はあるようだ。

(注4) パネルディスカッション: ◆カッティングエッジ技術 (他の追随を許さない尖った技術) を持っているか否かが重要で, 日本の技術力を持ってすれば, 種さえあれば優れた製品を開発できる。この意味で大学の工学系は技術のタネ・芽の温床になることを意識しよう。新しい技術は大学に求められているようだ。◆「経営」を先に勉強しすぎると, 怖くて「起業」できなくなる。縁があるときに (投資家が興味を示した時に), 準備ができていないか否かが何よりも重要で, 研究バカ・開発バカの時期も必要なようだ (熱中してやり抜く力)。◆宇宙を当たり前に使っている時代が到来し, 経済活動を宇宙からモニターできるようになった。まともな会社でないとビジネスができない。◆ベンチャーの経営には, ある種の『鈍感力』も必要とのことだった。スタッフのマネージメントに関しては, 概念 (考え方やプロジ

ェクトのゴール) だけを共有すればあとは任せておける人, 細かな手順も一緒になって考えた方が能率の上がる人など多様な人がいるので (外国籍のスタッフも多い), それぞれの個性に合わせて対応するように心がけているようだ。

議論の取っ掛かりとして最初に以下の項目が提示された:

1. 大学の研究からの起業や社会実装について

- 大学の勉強・研究って究極的に何のため? なぜ大学院まで来て研究をしているのか?
- 学生さんが思う起業ってどういうイメージ? (大変そう? なぜ起業? リスク? お金?)
- 大学と企業の動き方の違いは? 社会実装とは? (起業だけではなく, 共同研究などの道も)
- 「世の中に役に立つ」って何だろう? 食料・医療・貧困 vs 例えばテニスやエンターテイメント
- スタートアップ (ベンチャー) 企業と中小企業って違う? 日本のスタートアップ エコシステム

(投資・ファンド)

- Weathernews 社 故石橋元会長からの言葉:『How wonderful! から始め・無常式で考える』

2. 超小型衛星技術や衛星データの民主化について

- 国家主導 (NASA/JAXA/ESA) の宇宙開発から民間 (ビジネス) 宇宙開発へ
- 宇宙ビジネスの今の潮流は, 20 年前の IT ビジネス (インターネットビジネス) に近い
- 気象予報 (天気予報) の歴史と民主化 (過去: 気象情報は各国とも軍事機密→現代: 誰もが当たり前に使っている)
- 衛星データの未来, COVID-19 (コロナ禍) の思わぬ副産物
- SDGs, ESG* 投資企業のサステナビリティ, 社会的費用 [*投資家が SDGs を達成するために投資をする際の 3 つの観点: Environment, Social, and Governance]

(東京工業大学 博物館 資史料館部門 特命教授 広瀬茂久)