

**空間情報技術と  
21世紀のノアの方舟**

*(Spatial Information Technology  
and Noah's ark in the 21<sup>st</sup> Century)*

東明 佐久良







(G I T A North America コンファレンスの展示に展示された天然ガスパイプラインのガス漏洩検査のためのドローン)



(MRの実用例 (株) ニコン・トリンプル 提供)



(LIFT AIRCRAFT 社のHexa (LIFT AIRCRAFT 社ホームページより))



(災害に強い21世紀型ノアの方舟の都市イメージの例 (Getty Images より))

## はじめに

空間における位置の認識、空間上の移動のために、地図は、有史以来、人類の生活のために欠かせないものとなっている。地図は古くから、地球上の地理空間的なイメージの共通化された視覚的表現として、地域境界、植生、災害対応、空間移動などに利用されてきている。

ここでは、地図の起源から、コンピュータによる地理情報システム、サイバー空間への発展を技術の観点から叙述するとともに、これらの空間情報技術を踏まえ、人類がこれから直面する温暖化による災害に対応できる今後の新しい都市（21 世紀におけるノアの方舟）について述べる。

## 目次

I. 空間情報技術の展開	
1. 地図の起源 .....	6
2. 地理情報システム (Geographical Information System) とは	7
3. 地理情報システムの発端とその展開、災害対応など .....	8
4. GPSとリモートセンシング .....	12
5. 地理情報配信と標準化 .....	13
6. CIP (Critical Infrastructure Protection) .....	15
7. MR, ドローン、など新たな空間情報技術の登場 .....	16
8. 東日本大震災と熊本地震におけるGISの利用 .....	18
9. サイバー空間、ビッグデータとAI .....	20
II. 温暖化に対応する21世紀のノアの方舟	
1. 気候変動、コロナなど地球が遭遇する災害 .....	21
2. 空間情報技術を利用した社会の仕組みと災害に強い都市 (ノアの方舟)について .....	26

おわりに  
参考文献  
著者紹介

## I. 空間情報技術の展開

### 1-1. 地図の起源

地図の起源は、人類が狩猟文明から農耕文明に移行した時代からと考えられている。現存する世界最古の地図は、紀元前約 3000 年に粘土板の上に作られた大縮尺地図と考えられている。そこには、メソポタミアの川、山、海、市街地などが記載されている。

紀元 150 年の、ギリシャ時代には、プトレマイオスが、著書「地図学」(Geographia) で当時の地図に関する事柄を集大成しており、それに基づき、後に作成された小縮尺の地図には、地中海から、インド洋まで、大陸も含め、比較的詳しく描画されている。

その後、地図はアラブ社会において発展してきたが、16 世紀には、オランダのメルカトルが、大航海時代の地図として円筒図法による地図を作成した。19 世紀には、日本でも伊能忠孝が大日本沿海輿地全図を作成した。しかしながら、手製の紙の地図では、地図の更新、保管に多くの手間と場所を要し、時代の進歩とともに、コンピュータ化された地図の必要性が望まれてきた。

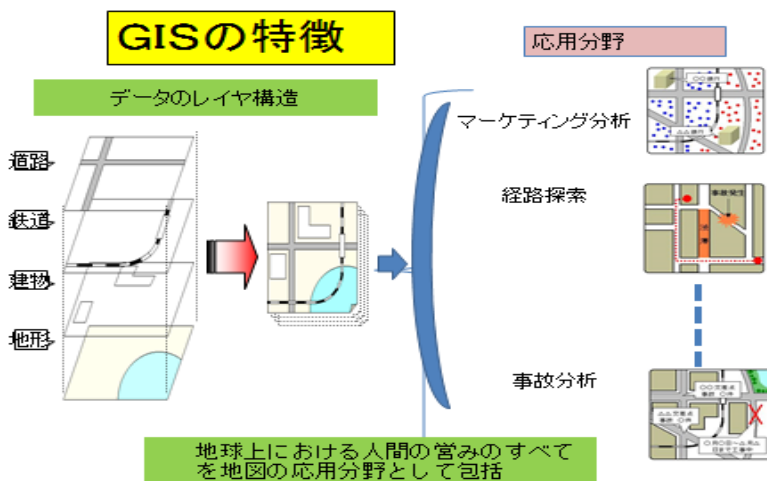


メルカトルによる地図（海上保安庁「海洋情報資料館」）

## I-2. 地理情報システムとは

地理情報システム（GIS=Geographical Information System）とは、アメリカ環境省によれば「系統的に空間データ（地表、地下、地上の位置や領域を明示した属性データ）を取得、管理、分析、総合、伝達を行う汎用的なコンピュータシステム」と定義されている。

このGISは、2つの側面を有している。一つは、「地図そのものの情報を取り扱うシステム」という側面であり、もうひとつは、「地図・地下の位置を表わす空間との関係を情報として取り扱うシステム」すなわち、空間データとほかのデータ類の融合により新しい価値を創造するという側面である。一般的にGISにおいては、データベースは、オブジェクト（地物）をレイヤーに分類した階層構造がとられているが、前述した2番目の側面によりマーケティング、経路探索、各種分析など地球上における人間の営みのすべてを応用分野として包括している。





### I-3. 地理情報システムの発端とその展開、災害対応など

#### I-3-1. 地理情報システムの発端

コンピュータによる地図情報の最初の利用は、1959年に運用開始した SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) というシステムが地理情報システム (GIS) の発端といわれている。これは、米ソ冷戦時代の防空システムで、アメリカ全土を監視するレーダー網により、侵入する飛行機の位置を把握し、地对空ミサイルや迎撃機に指令を与えるシステムである。このシステムは、55000本の真空管からなり、床面積は2,000m<sup>2</sup>であった。この開発には、IBMなども参加し、その後の商用コンピュータ分野での発展につながった。

世界最初の地理情報システムは、カナダのトムリンソンによって1964年に開発された。トムリンソンは、カナダ農林省のコンサルティングをしていたが、コンピュータを利用して地図を管理することを考案し、カナダ農林省に提案し、開発を行った。このシステムはCGIS (Canadian Geographical Information System) といわれており現在のGISの特徴をいくつか有していたものの当時のコンピュータの能力から、多くのことは実際的には困難であった。しかしながら、これを契機として1969年には、GISベンダーとしてIntergraph、ESRI、CALMA、IBM、シネコンなどの会社が出現した。Intergraphは主に軍用に、ESRI、CALMA、IBM、シネコンは主に商用分野が中心にマーケットを拡大した。なお、トムリンソンはFather of GISと呼ばれている。1967年には、アメリカ統計局は、国勢調査の効率化のため、DIME (Dual Independent Map Encoding) というデータの格納形式を構築した。これは、その後1990年のセンサス実施に向けTIGER (Topologically Integrated Geographical Encoding and Referencing) というデータベース構造に発展した。TIGERファイルには、国勢調査の街路、河川などの地図事象と、センサス地区、街区などのセンサス単位でのデータなどが含まれている。

1975年～1980年にかけて、アメリカの地方自治体、ガス、電力会社

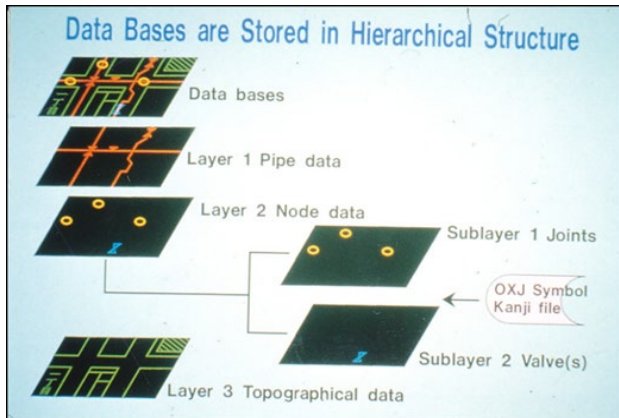
(City of Burnaby, . Brooklyn Union Gas Co, San Diego Gas & Electric Co. Southern California Edison Co.) においてシネコン、IBM などの GIS ソフトを使用してのパイロットシステムがスタートした。しかしながら、座標を有するデータの扱いの困難性、膨大な入力費用などから、多くの企業で、パイロットシステムから全体への拡大に困難をともなった。ハンク・エメリー氏は、ユーザー同士が情報交換できる場を作することを提案し、1982 年に AM/FM インターナショナルが設立された。1990 年には、AM/FM インターナショナル日本が設立された。

日本においては、1973 年に、建設省において都市政策に関する研究のための「地理情報システム研究委員会」がスタートし、都市情報システム (USI-1) のプロジェクトにおいて、兵庫県、神奈川県等において各種行政支援用 GIS の研究、試験的实施が開始された。

### **I-3-2 地理情報システムの展開、災害対応**

#### **(1) 東京ガスによるマッピングシステムの開発**

1983 年になると、日本の大手ガス会社である東京ガスが自社供給エリア (約 3000km<sup>2</sup>) の約 30,000 枚の図面の入力を行い、GIS を構築した。東京ガスは、1983 年～1988 年にかけて図面上のガス管、道路、家形などの入力をおこない、約 800 万件 (当時) の顧客とガス管を地図上で結合し全社的な統合 GIS を構築した。このシステムは、TUMSY (Total Utility Mapping System) といわれ、日本で最初に独自に開発および実用化された GIS システムである。世界的に見ても、この当時これほど大規模な GIS システムの実用化は最初であったと思われる。



階層型地図データベース



図面の入力風景

## (2) ROADIS の開発

1986年には、札幌、千葉、横浜・川崎、名古屋、京都・大阪・神戸、広島、北九州、福岡の政令指定都市と、東京において、すべての地下埋設物がGISを利用し、データベースに登録された。登録された地下埋設物は、道路、NTT、電力ケーブル、電柱、ガス、水道、下水道、地下鉄、家屋などである。このシステムは、道路管理システムROADIS(Road Administration Information System)といわれ、道路管

理センター（ROADIC）で運営されているが、これは世界最初の広域統合型GISシステムである。本システムは建設省（当時）が中心に道路管理者（国、東京都、特別区、政令指定都市）公益事業者（水道、下水道、地下鉄、電信、電話、電力、ガス）により進められ、開発は、東京ガスとNTTにより行なわれた。

このシステムは 255 のレイヤー構造からなり、道路・占用物件管理、道路工事調整、占用許可申請のシステムから構成され、各政令指定都市および東京において、上記業務の基幹システムとして多く利用されている。このシステムにより、各地区及び日本全体の電力、ガス、NTT、水道、下水、道路データの登録、GISの導入がスタートし、日本国内のGIS市場の拡大につながった。

### （3）阪神大震災、アメリカ同時多発テロとGISの必要性の認識

1995年の阪神大震災（M7.3、死者-6,400人、家の倒壊-240,000戸、供給停止-300万件（電力-2.6M 電話-0.12M ガス 0.49 M 水道-0.65M））の際には、災害の復旧時に道路管理センターより、道路、地下埋設物地図が神戸市NTT、大阪ガス、神戸市水道局に提供され、災害でのGISの必要性が認識された。



阪神大震災による鉄道施設被災（国土交通省ホームページより）

また、2001年のアメリカ同時多発テロ（死者2996人、負傷者6291人以上）では、GISによる復旧図面が提供され、アメリカにおいても災害でのGISの必要性が認識された。

## I-4. GPSとリモートセンシング

### I-4-1. GPSのスタート

普遍的な正確な地図を作成するためには、地球上の位置を正確に把握することが、必要不可欠である。人工衛星による高精度の位置測定の最初の試みとして、1978年に1号機が打ち上げられた。これはGPS(Global Positioning System)といわれている、人工衛星を用いた全世界的な高精度位置測定システムである。元来は、米国国防総省が、フィールドでの戦闘の際に自己の位置を、把握するためのシステムであるが、これにより地球上の位置がより正確に把握できるようになった。1991年の湾岸戦争時には、イラクとの砂漠の戦闘に利用された。

1993年より、運用開始され、カーナビゲーション、レーダー探知機、ハンドヘルドGPS、腕時計、携帯電話、スマートフォンなどの携帯機器に使用されている。現在では、GPS（アメリカ）31機、GLONASSS（ロシア）22機、BeiDou（中国）31機、ガリレオ（欧州）24機、みちびき（日本）4機の衛星が、運用されている。



GPSのイメージ図(GNSSについて (国土地理院ホームページより))

## I-4-2 リモートセンシング

地球環境などの状況写真、地上の情報をより詳細に把握するために人工衛星を利用した、リモートセンシングが20世紀後半にスタートした。リモートセンシングとは、「離れた場所から、物質の情報を読み取る」技術のことを言い、19世紀に気球による写真撮影が最初といわれているが、20世紀になって人工衛星により、大規模なリモートセンシングが可能となった。

1972年にNASAによりLandsat1号が、打ちあげられ、農業、地質、森林、環境、地震の分野での、利用がスタートした。最近では、合成開口レーダーを装備した高精度リモートセンシング衛星も打ち上げられ高解像度のデータが得られている。



リモートセンシング 地球観測衛星 (JAXA ホームページより)

## I-5. 地理情報配信と標準化

### I-5-1. 地理情報配信とNSDI

インターネットが普及するに従い、インターネットを利用した地図配信のニーズもたかまってきた。最初の実用的な、地理情報配信システムは、1993年にゼロックス社のパロアルト研究所で開発されたマップサーバといわれている。これは、公開されたデータを使用して、簡単な地図を生成するシステムであった。(インターネットGIS、古今書

院) 1994 年には、インターネットを利用して地図データを配信する多くのプロジェクトがスタートし、これらを推進すべく、NSDI (National Spatial Data Infrastructure) 国土空間データ基盤の整備がおこなわれた。これは、クリントン大統領時に、大統領執行令 No. 12906 により実施され、連邦、州、地方自治体、民間、市民の間のデータ共有の基盤が構築された。NSDI は連邦地理データ委員会 (FGDC) により推進された。

その後、NSDI は GIS の国際標準のメタデータの基本となった。

このインターネットを利用した、地理情報配信は、ナビゲーション、LBS (Location Based Service), Google Map などに幅広く利用されており、現在では、5G 時代を迎えて、MR (Mixed Reality), VR (Virtual Reality) などの分野で利用が拡大しつつある。

日本では、1995 年の阪神淡路大震災を契機として GIS への認識が高まり、「地理情報システム関係省庁連絡会議」が発足した。さらに 2002 年に「GIS アクションプログラム」が、2007 年に 地理空間情報活用推進基本法 (NSDI 法) が施行された。

また、1991 年には、地理情報システム学会が、1998 年には、東京大学空間情報科学研究センターが発足した。なお、地理情報に係る研究機関としては、米国では、1988 年に NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) が、英国では、1987 年に、RRL (Reginal Research Laboratory) の設置がスタートした。

## I-5-2. 地理情報の標準化

国際的な地理情報システムの利用に伴い、地理情報の標準化が、1994 年にスタートした。これは、ISO の Technical Committee 211 番目であることから、ISO/TC211 (Technical Committee 211-Geographical Information/Geomatics) と命名された。TC 211 では、地球上の位置と関連づけられているオブジェクトについての構造化された標準体系を構築することを目的としており、標準化対象項目としては、空間スキ

ーマ、時間スキーマ、座標による空間参照、地理識別子による空間参照等、地理的基本構造に係るものから、品質原理、メタデータなどコンテンツの記述に関するもの、描画法、GML, ウェブマップサーバーインターフェイス等データフォーマット、Web サービスに関するもの、LBS などアプリケーションに関するものなど幅広い分野にわたっており、UML モデルにより標準化を行っている。日本においては、制定された、地理情報標準に関する国際規格 ISO 191\*\*シリーズに基づき国内規格として、JISX 71\*\*シリーズが作成され、その実用規格として地理情報標準プロファイルが作成された。

#### **I-6. Critical Infrastructure Protection (CIP)重要インフラ保護**

インターネットを利用した、最初の実用的な、地理情報配信システムが拡大するにしたがい、インターネットを利用した、サイバー攻撃も次第に増大してきた。クリントン大統領は、1998 年に、PDD-63（大統領決定指令第 63 号）により、米国の重要インフラ（特にサイバースystemを含む）に対する物理的攻撃とサイバー攻撃の二つの攻撃に対する脆弱性を迅速に解消するためのあらゆる政策措置を講じると表明し、1) 防護すべき重要インフラの分野を政府関連とセクター別に大別し、2) 特定機能担当主務省庁とセクター別リエゾン担当主務省庁を特定した。すなわち、電力、ガス、水道、情報通信、鉄道などのインフラ施設、医療、金融、物流、政府行政サービス、などの公共施設を重要インフラと定義し、これらの重要施設をサイバー攻撃から、守るための情報セキュリティー対策をスタートした。これは、その後ブッシュ大統領時代の Homeland Security に発展していった。

日本においては、2008 年より具体的に重要インフラに係るサイバーテロ対策の特別行動計画が、スタートした。



## I-7. MR (Mixed Reality), ドローン、準天頂など新たな空間情報技術 (GIT) の登場

GPS による精度の高い位置情報や AI などの新しい技術を利用した GIT をベースとした新たな GIT 技術が登場してきた。

### I-7-1 商用ドローンの開発と販売

無人飛行機ドローンは、元々は第 2 次大戦中に軍事目的からスタートし、1995 年には、軍事用ドローン「RQ-1 プレデター」が開発された。日本においては 1970 年代から、農薬散布のための産業用ドローン (無人ヘリ) が開発され、使用されている。本格的な商用ドローンは 2010 年に、フランスの Parrot 社が開発した、「AR Drone」であるといわれている。今日では、GPS と AI を装着したドローンが開発され、多くの分野で利用され、その応用分野も多岐にわたっている。遠隔地に輸血用の血液を届けるドローンや、荷物を配達する宅配ドローン、パイプラインの漏洩検査をするドローン、人を乗せる有人ドローン、ハエやミツバチのような超小型のドローン等々である。また、ドローンによる空飛ぶ無人タクシーも実用化試験が現在行われている。



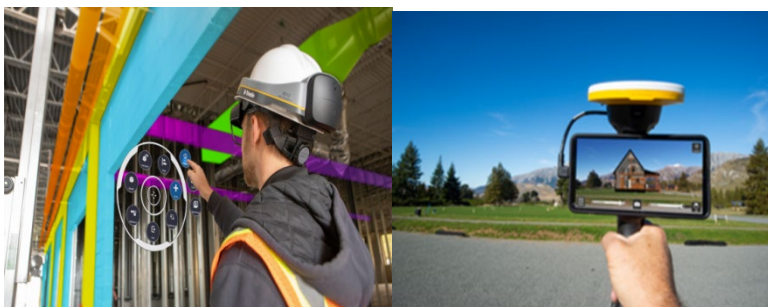
(天然ガスパイプラインのガス漏洩検査のためのドローン)

G I T A North America コンファレンに展示)

### I-7-2 3次元とMR(Mixed Reality)

MR(Mixed Reality)はCGなどで人工的に作られた仮想世界と現実世界の情報を組み合わせて仮想世界と現実世界を融合し、仮想世界を現実世界に重ねあわせて体験できる技術である。特殊眼鏡(Google Glass)を装着することにより、コンピュータによる仮想3次元データと現実のデータを重ね合わせてみるができる。2013年には、Google GrassによるMR(Mixed Reality)の実用化がなされた。

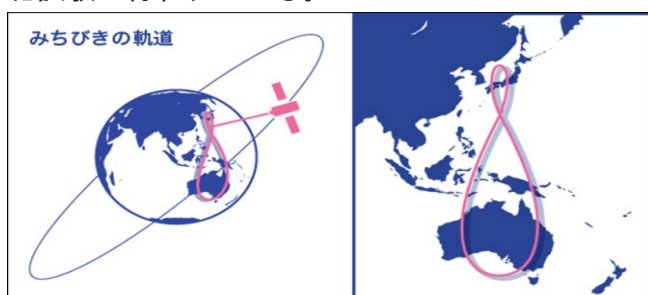
下記の1段目左図は、建築中の建物にコンピュータ内の配管などを重ね合わせたMRである。右図は、デザインしている建設予定の住宅を風景に重ね合わせたMRである。また、2段目の図は、コンピュータにある道路の地下埋設物のデータを実際の道路の上に表示したものである。これにより工事の際の事故防止ができる。MRの最近の例では、スマートフォンアプリの『Pokémon GO(ポケモンGO)』(2016年)ある。



MRの実用例 (株)ニコン・トリンプル 提供

### I-7-3 . 準天頂衛星の実用化

より精度の高い位置情報を把握することを目指して、日本版 GPS として 2010 年に準天頂衛星初号機みちびき (QZS-1) 1 号機が、2017 年には、4 号機が打ち上げられ、2018 年より実稼働された。これにより、アジア・オセアニア地域で常時 3 機をとらえることが可能になり、特に日本国内において高精度な位置情報が得ることが可能となった。このみちびきの利用分野として、農機の自動走行システム、自動運転、除雪作業支援、自脱コンバインなどが検討され、実用化ならびに実用化試験が行われている。



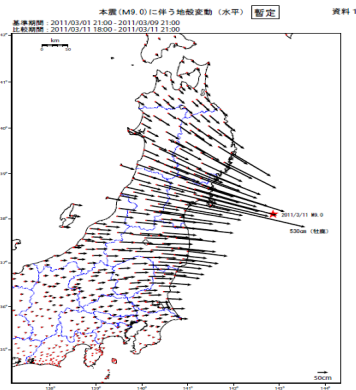
( みちびき (準天頂衛星システム : QZSS) 公式サイトより )

### I-8. 東日本大震災と熊本地震におけるGISの利用

2011 年 3 月 11 日に、マグニチュード 9.0 の大地震が東北地方・太平洋沖で発生し、最大 21m の津波が生じ、これに伴い福島第 1 原子力発電所の事故が生じた。これにより、死者-16,000 人 避難民-470,000 人 破壊家屋 405,000 戸 供給停止 1100 万件 (内訳 電力-8 百万件 , 電話- 190 万件、ガス- 47 万件、水道 -180 万件 ) の大災害が生じた。GIS は、災害時におけるリアルタイムの状況マップ、被害状況の迅速な把握、地震災害の分析など多くの場面において有効に利用された。



東日本大震災の津波による被害（内閣府災情報ホームページより）



マッシュアップシステム (GITA-Japan より)      地殻変動図 (国土地理院ホームページより)

2016 年には、熊本地方を中心とするマグニチュード 7.3 の熊本地震が発生した。これにより、死者-55 名、避難者-18 万人(直後)、建物全壊-8300 棟、断水-45 万戸、停電-48 万戸、ガス供給停止-11 万戸などの被害が生じた。この地震においても GIT (Geospatial Information Technology) が、被害状況の把握、ドローン活用による廃棄物の計算など有効に利用された。



被害を受けた熊本城（内閣府防災情報ホームページより）

### I-9. サイバー空間（スペース）、ビッグデータとAI

サイバー空間（スペース）とは、1980年代にウィリアム・ギブスンが自著「ニューロマンサー」に登場したといわれているが、近年、大量のデジタル情報を伝達・交換・蓄積・共有するためのネットワーク空間として、急速に拡大・発展している。IoT(Internet of Things)に見られように、地球上のすべての物（オブジェクト）をクラウドコンピュータすなわちサイバースペースに蓄積しようという動きが加速している。人に係る情報（位置、動作、DNA、病歴などの個人情報）、物の情報（位置、動作など）、人により作り出されたものの情報（会社、株、アクション（動作）など）がサイバースペースに登録されつつある。これらの情報は、ヒストリーを有することから、4次元の時空間情報であるが、データ量も多いことから、ビッグデータと呼ばれる。

このサイバー空間は、多くのクラウドコンピュータ群、ビッグデータを蓄積するデータベース群、ネットワーク群、利用端末群、感知センサー群、ロボット、アルゴリズム群から構成されるため、人間では管理・監視がほとんど不可能である。そのため、AIによる処理およびマネジメントが必要不可欠である。今後、この膨大なビッグデータベースを有するサイバースペースは、人類が生存していくためには、欠くべからざるものになりつつあるが、AIが管理するサイバー空間に逆にその生存権を握られているともいえる。

## II. 温暖化に対応する 21 世紀のノアの方舟

旧約聖書の創世記によれば、地球の大洪水の際に、ノアは神の啓示に従って箱型の舟を作り、家族と世界中の動物を乗せて人類を破滅から守ったといわれている。21 世紀において、地球は、急激な温暖化による災害に直面しつつある。この災害から人類を守るためには、人類の科学・技術力を結集した 21 世紀のノアの方舟、すなわち災害から人類を守る未来型都市の構築が必要不可欠になる。

### II-1. 気候変動、コロナなど地球が遭遇する災害について

#### (1) 温暖化の影響について

国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 5 次評価報告書（2014）によれば、1950 年から 2100 年までの気温変化が最大 0.3～4.8° 上昇すると予測している。また、2100 年までに海面が最大 82 cm 上昇すると予測されている。

現在のところは、世界の温室効果ガスの排出量の実情は、IPCC が示した 4 つのシナリオのうち、2100 年に最も気温が高くなる 4°C のシナリオで推移しているようである。ここ 40～50 年の日本の平均気温は、下図の通り 1～1.5°C 上昇している。

既に、温暖化による災害が世界中で生じている。2018 年には、世界中が熱波の被害を受けている。カナダのケベック州では、熱波で 54 人が死亡し、パキスタンでは、気温が 50°C を超えた。2017 年には、山火事によりアメリカカリフォルニア州で 1,140 平方キロメートル以上焼失した。2019 年にはオーストラリアでは山火事で 107,000 平方キロメートル以上焼失し、建物被害は 5,900 棟以上になった。2018 年には、日本においても西日本豪雨、台風 22 号により、多大な被害をもたらされた。2019 年のハリケーンドリアンはバハマ諸島北部を直撃し、壊滅的な被害をもたらし、約 7 万人の住民が住宅を失った。

平均気温 4°C 上昇の世界では、穀物栽培にも影響を与える。主食となる穀物栽培では、気温が 1°C 上昇すると収穫量が 10% 減少するといわれているが、これによれば、40% の穀物が減少する。さらに温暖化に



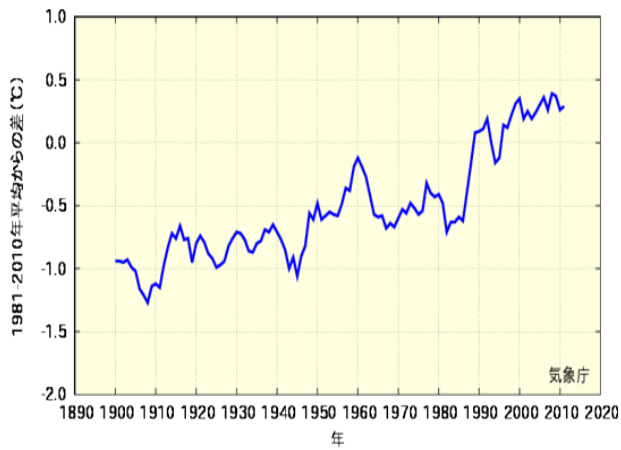
より、中央アフリカ、パキスタン、アメリカ西部、オーストラリアに大旱魃が広がってき、飢餓の爆発的な拡大が起こる。そしてこれは難民の大幅な増加に繋がる。

平均気温が4°Cシナリオで推移した場合、海面は最大82cm上昇すると予測されているが、グリーンランドの氷床が臨界点を越えて融解した場合、海面は、6m上昇する。さらにシベリア、北極圏の永久凍土から、メタンが放出された場合、気温の上昇がさらに生じる。また、南極の氷床が解けた場合、海面は60m上昇すると云われている。

2017年に気候変動に関する専門誌「Nature Climate Change」に掲載された分析によると、二酸化炭素などの温室効果ガスの排出を大幅に削減しない限り、2100年には最大で世界の4分の3の人々が熱波による死の脅威に直面することになるといわれている。(米ハワイ大学マノア校のカミロ・モラ)

アメリカでは、平均気温1°Cの上昇により山火事による被害面積は4倍になるといわれている。2100年に気温が4°C上昇すれば、今の256倍の面積、160,000km<sup>2</sup>が消失することになる。

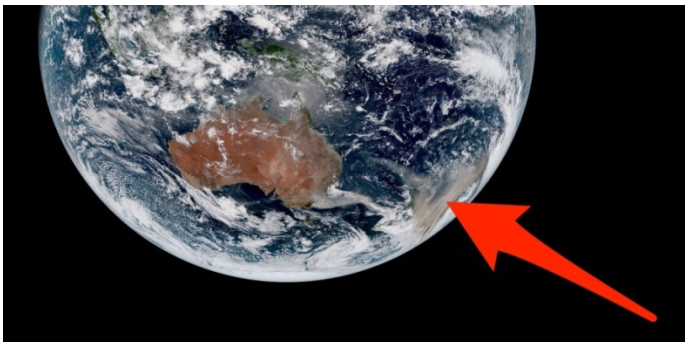
これにより土石流を含む大洪水が発生するとともに、森林に蓄積されているCO<sub>2</sub>が放出され温暖化に拍車をかける。すなわち温暖化のポジティブ・フィードバックが起きるため、ますます温暖化が進行する。(The Uninhabitable Earth Life after Warming :David Wallace-Wells より)



気象庁ホームページ 日本における過去 120 年間の年平均気温の 5 年の移動平均処理)



温暖化による災害 (千曲川堤防決壊 (内閣府ホームページより)、



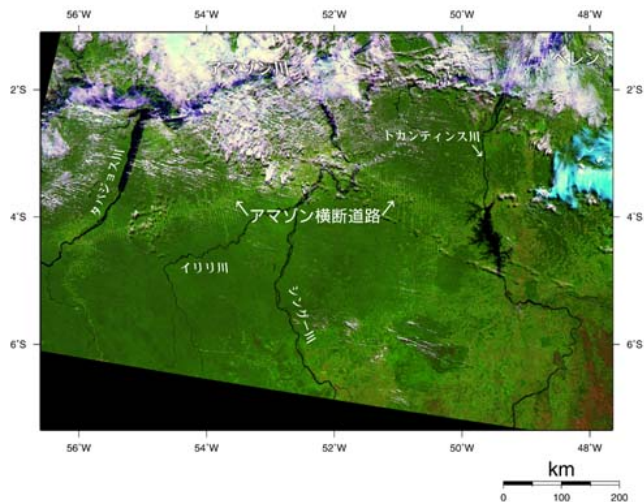
(オーストラリア森林火災-ひまわり 8 号により撮影 (気象庁ホームページより)  
オーストラリア東側とニュージーランドが煙でおおわれている。



温暖化の原因としては、CO<sub>2</sub> 濃度が主たる要因であるといわれているが、東京大学大気海洋研究所 安部彩子教授の近年の研究によれば、温暖化の大きな要因は 10 万年周期の地球の氷床の変化による活動が主な要因であり、現在は、約 2 万年前に始まった暖かい間氷期にあたり、CO<sub>2</sub> 濃度は、気候変動の振幅を増幅するといわれている。

阿部教授によれば、産業革命以前に 280ppm であった CO<sub>2</sub> 濃度は、現在 400ppm を超えており、南極、グリーンランドの氷床が融解がしきい値を超えていくことも考えられ、その変化に注意する必要があるとのことである。

また、イギリス、Banger University のサイモン・ウイルコック氏がネイチャーコミュニケーション最近発表した論文によれば、アマゾンの生態系が早ければ来年にも限界点を超える可能性があり、森林面積の 35% が失われれば、最終的な消滅につながると警告している。



アマゾン横断道路（トランスアマゾニカ）と、その周りに魚の骨のように広がる熱帯雨林の伐採跡「フィッシュボーン」（JAXA ホームページより）

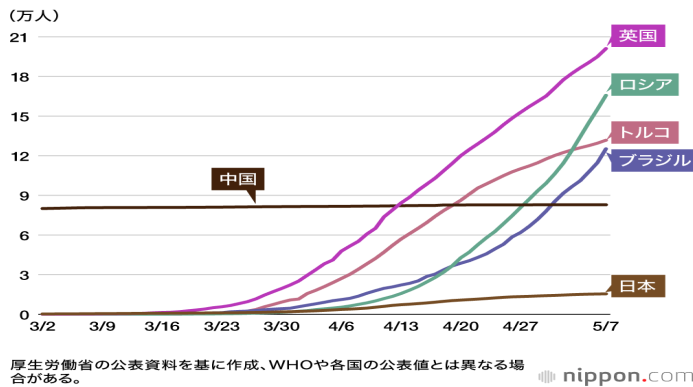
## (2) 温暖化による感染症の増大について

温暖化が進むにつれ新たな感染症の発生が生じてくる。環境省によれば、温暖化により、蚊、ダニ、ノミなどの媒介動物によって日本脳炎、マラリア、デング熱、ウエストナイル熱などの感染症のリスクが高まってきている。また、海面温度の上昇や、海面の上昇による海中のプランクトンの増殖によってコレラ菌が増大しコレラ発生のリスクが高まっている。温暖化により、熱帯域は、10年に約50km拡大しており、熱帯に生息していた生物が人間の居住域に出現する。例えば、アマゾンで生息している、蚊がサンパウロなどの都市に出現しつつある。蚊は、黄熱、マラリア、ジカウイルスを媒介することで知られている。世銀によれば、2030年には、36億人が、マラリアの危険にさらされると予測している。また、温暖化によりマダニの生息域が北上し、マダニにより媒介されるライム病が、近年、日本、トルコ、韓国で報告されている。すでにオランダでは、国土の54%でマダニが発見されている。アメリカでは、新規感染が、毎年30万件と報告されている。

(The Uninhabitable Earth Life after Warming :David Wallace-Wells より)

2019年に中国 武漢で発生した、新型コロナウイルスは、蝙蝠が原因とされているが、グローバル化により数か月もたたぬうちに世界中に広がった。2020年5月末現在、世界で感染者数は、約600万人を突破し、死者は36.9万人に上っている。10日で100万人増加している。国別の感染者数は、アメリカ180万人、ブラジル50万人、スペイン24万人、英国27.3万人、ロシア40万人などである。新型コロナウイルスへの対応としては、人との接触の機会を減らすことが最も有効とされ、特に密集場所、密閉空間、密接場面を避けることが必要とされている。このようなことから、多くの企業、学校では、テレワーク、オンライン授業などの分散型社会に移行している。

#### 4月以降の感染者急増国 (日本と中国はベンチマークとして加えた)



(2020年5月10日正午時点厚労省とりまとめ)

## II-2. 空間情報技術を利用した社会の仕組みと災害に強い都市 (21世紀のノアの方舟)について

### II-2-1. 温暖化などにより今後増大していく災害

前述したような、地球温暖化は、人類の環境問題へのとりくみの遅さから、予想以上に速いスピードで進行しているように見受けられ、(IPCC)の第5次評価報告書で予想される以上の災害が人類を襲うことが考えられる。それらは、

- (1) より巨大化した台風による洪水、強風による被害の甚大化、
- (2) 大規模地震による災害、巨大津波、
- (3) 温暖化による気温の上昇。
- (4) 温暖化による海面上昇によるゼロメートル地域、海岸の工場地帯の被害。
- (5) 海洋汚染、大気汚染の拡大、プラスチックなどのマイクロプラスチック汚染
- (6) 富士山噴火による火山灰による停電、断水、降灰による交通手段の遮断等の都市機能の麻痺(政府の中央防災会議の作業部会は、3月31日富士山で大規模噴火発生シミュレーション)

ン結果を公表した。それによると噴火後数時間で、停電、断水、移手段、通信手段の麻痺が生じ都市機能が停止する。)

- (7) グローバル化による新たな伝染病（例えば新型コロナウイルス等）の拡大。
- (8) 温暖化やグローバルな感染症により食糧不足による飢餓の増大。

ユヴァル ノア ハラリー氏は著書「サピエンス全史」で、人類の文明の始まりは、小麦の栽培が基本となる農業革命からと述べているが、それは、1万2000年前のことであり、人類の出現した約20万年に比べれば、その期間は、わずか6%にしかすぎない。その6%の期間にユヴァル ノア ハラリー氏の著書「21 Lessons」によれば、人類は、宇宙船地球号にとって、核戦争、生態系の破壊（気候変動を含む）、技術的破壊（AIとバイオテクノロジーによる人類の破壊）という解決が困難な3つの破壊という問題を生じさせている。各々、対応が難しい問題であるが、生態系の破壊（気候変動を含む）はかなり対応が困難な問題といえる。特に温暖化による気候変動は非常に差し迫った問題である。

温暖化への対応は、CO2を削減することが必要であり、そのための技術開発、世界の国々の協力が求められるが、各国の利害が絡みなかなか難しい状況であり、実現は時間がかかりそうである。現実には、その間に温暖化は進行していくことが考えられることから、ここでは、IT, GIT等の技術（今後開発するものも含む）による温暖化に対応できる都市の考え方について述べることとする。

## II-2-2. 今後の技術展開、

- (1) IoTがますます進行し、今以上に能力向上したAIとクラウドコンピュータ、巨大データベース群、インターネットそれらが結合されたサイバー空間（サイバースペース）に、人類を含めた、地球上のすべてのもの事象（オブジェクト）が、登録されて行く。

- (2) 巨大データベースには、個人のすべての登録された履歴(病歴、遺伝子、趣味、好み、行動、防犯カメラの映像など)が関係づけられ、蓄積されていく。そして同時にそれらを各個人のパソコンから利用するためのアプリも開発・装備されていく。
- (3) 通信の高速化 5G や MR, VR(バーチャルリアリティ)などの技術はさらに発達し、安価で、簡便に各個人のパソコンから利用できるようになる。
- (4) 人の移動手段としては、自動車による 2 次元の道路上での移動に代わり、ドローンを利用した 3 次元空間の自動運転による無人タクシー、自家用ドローン(現在試験開発または、一部実用化されている)の利用が、今後普及していく。これらは AI とクラウドコンピュータ群によりコントロールされた 3 次元地理空間(サイバー空間)を移動するため事故はほぼゼロに近くなる。宅配など物の移動についても同様に無人の自動運転ドローンにより行われる。



LIFT AIRCRAFT 社の H e x a (LIFT AIRCRAFT 社ホームページより)

### II-2-3. 今後の技術の発展を踏まえた今後の社会

#### (1) 集中型社会から個別分散化社会への移行

人類は、集中型社会から、AI、IoT、巨大データベース等を利用した、個別分散型社会に移行してくことが考えられる。現在、業務のために都心のオフィスに大量輸送手段(電車、地下鉄など)を利用して移動しているが、テレワーク、バーチャルリアリティーなどの技術のさらなる発展、5Gなどの通信回線のさらなる高速化を考えると、業務作業、会議などはほとんど個人の自宅、あるいはサテライトオフィスで実行が可能となる。

#### (2) 大規模知識データベースとAIサポートによるグローバルなビッグデータの利活用

AIによるアルゴリズムが充実してくれば、各個人をサポートするサポートソフトウェアが充実し、各個人は、医療、教育、法律等多くの分野で自宅のコンピュータからグローバルに知識と情報を得ることができる。法律、医療などは各家庭のパソコンから、AIを利用した的確な情報を得ることができる。特に教育に関しては、学校という集合場所ではなく、各家庭のパソコンよりネットを利用した分散教育に移行していく。日本だけでなく欧米の優れた講義を5G、VRなどでとりこむことによりグローバルな教育を小学校から行うことができる。AIの自動通訳機能により、自動的にリアルタイムに日本語に通訳される。これらのカリキュラムの構成にAIを使用することもできる。このようなときに教員の役割を改めて考える必要がある。

#### (3) 2次元空間の大量輸送方式から3次元空間の個別移動方式へ

人の移動について考えると、自動運転のドローンによって3次元的に空中を移動することが望ましいと考えられる。すべてのドローンは、目的地をセットすることにより、自動的に運転され、それらはクラウドコンピュータとAIにより管理・監視されるので、交通事故は、ほとんど0に近くなることが予測される。宅配など、物資の移動についても個別の移動は、ドローンで行い、地域の集配所または、個人宅に配達する。なお大量の物資の輸送は、従来通り道路により

行うこととする。

(4) ストックエネルギーからフローエネルギーへ（集中型エネルギーから個別分散型へ）

エネルギーについては、太陽エネルギーをできる限り使用することとする。人類は、今までに地球に蓄積された資源（石炭、石油、ウラン等 ストックエネルギーと呼ぶ）を、採掘し有効利用してきた。人類は、これらのストックエネルギーの、採掘および利用については、今まで成功してきたように見受けられる。しかしながら、その後処理については、必しもうまく行われているとは、言い難く、大気汚染、温暖化、放射能等の問題が生じている。これらの問題の処理にはコストと時間がかかることが予想される。

太陽光などのエネルギーをフローエネルギーと呼ぶとすると、当面人類はこのフローエネルギーを最大限利用して行くことが必要となる。また、発電形態として、大規模発電プラントから、ソーラー発電のような地域別の個別発電に移行していく。

## II-2-4. 災害対策ならびに今後の社会形態を踏まえた

### 今後の都市構築にかかる基本的考え方と必要条件

#### (1). 都市計画策定に際しての基本的考え方

- (1) 効率化を目的とした都市ではなくて人の住みやすさを目的とした都市を指向する。(Maas、Smart City)
- (2) 地震、災害（外部からの攻撃含む）、温暖化による海面上昇、気温上昇、大気汚染などに対応できる 22 世紀まで耐えうる都市を考える。人類を災害から守り人類が快適に暮らせる Rescue City(レスキュー都市)を考える必要がある。
- (3) コロナなど世界的な感染症に対応できる都市を考える。
- (4) 当面、生態系の破壊（気候変動を含む）について、対応する都市を考える。

## (2). 必要条件

- (1) 50 万人～100 万人規模でまとまって居住できる都市を国内に構築とする。
- (2) 災害に備えストックエネルギーでなくフローエネルギーを基本とし、太陽エネルギーと蓄積のための蓄電池によるエネルギー自立型の都市とする。
- (3) 都市は3層とし都市内の輸送交通網と、ユーティリティーは、1, 2層とし、居住は3層とする。(コンパクトシティ、スマートシティ、Maas)
- (4) 水など生活に必要な物資を可能な限り自給とし、循環サイクルを確立する。
- (5) 食糧の生産は、植物工場などのような食料の工業化を進め、自給率を100%に近づけていく。
- (6) 都市は、地震、災害、海面上昇、気温上昇などに耐えられる構造とする。たとえば天井の開閉ができるドーム型にし、大規模な内部の冷暖房をドーム内全体で行うとともに、災害に耐えられる構造とする
- (7) 都市間の移動は、3次元のドローンおよび、リニア—モーターカーによる高速な移動、配送方式を構築する。
- (8) 都市内の運営に関しては、新しいIT技術および先端技術を利用あるいは開発し運営の効率化を目指すとともに人間のすみやすさを目的とする。
- (9) 各個人は、医療、教育、法律等多くの分野で自宅のコンピュータからグローバルに知識と情報を得ることができるよう、5G、VRなどの技術を取り込んだ各個人の自宅での作業(テレワーク、テレミーティング、テレエドゥケーションなど)ができるようにし、個別分散化社会への対応ができるインフラを整備する。  
(スーパーシティ等)
- (10) この都市を災害からの Rescue City(レスキュー都市)と位置づけ、可能な限り多くの人類が平等に、常時災害時、有事にそこに



住めるようにすることが必要である。資本の論理にゆだねれば、富裕層のみがそこに住むことになると考えられるので、多くの人々が住めるようにサポートしていく仕組み（政策）が必要である。



災害に強い 21 世紀型ノアの方舟の都市イメージの例

(Getty Images より)

## おわりに

温暖化による気候変動、大気汚染、海洋汚染など、から日本の国民を守っていくためには、国民の多くが安心して快適に暮らすことができる、21世紀型ノアの方舟 Rescue City(レスキュー都市)の構築が必要不可欠である。

日本人の多くが、これから増えていく災害時に、被災しないように以上の要件を具備した都市を 21世紀中に日本国内に可能な限り多く構築し、日本国民の生命を守ることが急務である。

東京、大阪など多くの大都市は、海岸に近いところに存在している  
ので、至急都市移転の準備をして行く必要がある。例えば、東京は長野に、大阪は滋賀に移転するなどである。また、海岸線に存在している多くの工場は内陸への移転計画を至急策定する必要がある。

特に、海岸線の原子力発電所は移転するにも廃炉するにも多大なる年月を要するので、至急作業に取り掛かる必要がある。

海岸線、ゼロメートル地帯、海拔 30~40mまでに居住する住民のレスキュー都市への移転計画も至急策定しなければならない。

将来、日本の国民の多くが国際難民になるという現実が来ないことを願ってやまない。

## 参考文献

- ・ Arthur H. Robinson : Element of Cartography 1953 、 ‘地図学の基礎’ 永井信夫訳 , 帝国書院 1984
- ・ Brandon Plewe : GIS ONLINE , OnWord Press 1997、 ‘インターネットGIS’ 岡部篤行、東明佐久良、那須充訳 、古今書院 2001
- ・ David Wallace-Wells : The Uninhabitable Earth life After Warning , Tim Duggan Books 2019、 ‘地球に住めなくなる日’ 藤井留美訳、 NHK出版 2020
- ・ 斎藤 修平、東明 佐久良, 岡田英樹 : 道路管理システムと空間データ、電子情報通信学会誌、Vol. 81, No. 7、電子情報通信学会 1998
- ・ 東明 佐久良 : 地下埋設物管理のためのコンピュータ・マッピングシステム、計測と制御 Vol30, No9, 計測自動制御学会 1991
- ・ 東明佐久良 : ビジュアルGIS 、オーム社 2002
- ・ 東明佐久良編、モバイルバーチャルGIS研究会 : バーチャルGIS、オーム社 2005
- ・ Yuval Noah Harari : Sapiens A Brief History of Humankind , Harper 2011 、 ‘サピエンス全史’ 柴田裕之訳、河出書房新社 2016
- ・ Yuval Noah Harari : 21 Lessons for the 21<sup>st</sup> Century、 Spiegel & Grau、 Jonathan Cape 2018 、 ‘21Lessons’ 柴田裕之訳、河出書房新社 2019

**著者略歴** 東明佐久良（しのあきさくら）



大妻女子大学名誉教授、大妻学院評議員  
大妻女子大学人間生活文化研究所特別研究員  
GITA-Japan 会長、(財)道路管理センター評議員

東京大学工学部計数工学科卒(1967年)、工学博士  
東京ガス(株)においてコンピュータマッピングシステム(TUMSY)の開発  
および建設省(現、国土交通省)の道路管理システム(ROADIS)の開発に従事。  
東京ガス(株)マッピングセンター所長を経て、2001年に、大妻女子大学社  
会情報学部社会情報処理学専攻教授、2010年に大妻女子大学社会情報学部  
学部長、2015年より大妻女子大学名誉教授。

第20回日本科学技術情報センター丹羽賞(1985年)、第16回 日本科学技  
術連盟石川賞(1985年)、第24回 日本科学技術連盟石川賞(1993年)、GITA  
North America より「GITA Lifetime Achievement Award」(2005年)を受  
賞。

主著として、「コンピュータマッピング入門」(共著 1988年、日本コンピュ  
ータグラフィック協会編、日本経済新聞社)、「モバイル GIS」(編著 1997  
年オーム社)、「インターネット GIS」(共著、訳 2001年 古今書院)、「ビ  
ジュアル GIS」(2002年 オーム社)、「バーチャル GIS」(共著、モバイル・  
バーチャル GIS 研究会編、2005年 オーム社)

空間情報技術と21世紀のノアの方舟  
(Spatial Information Technology and Noah's ark in the 21stCentury)

2020年7月21日 発行

---

著者 東明 佐久良

発行所 大妻女子大学人間生活文化研究所  
〒102-8357 東京都千代田区三番町12  
TEL 03(5275)6047  
FAX 03(3222)1928

---

ISBN : 978-4-907136-26-0