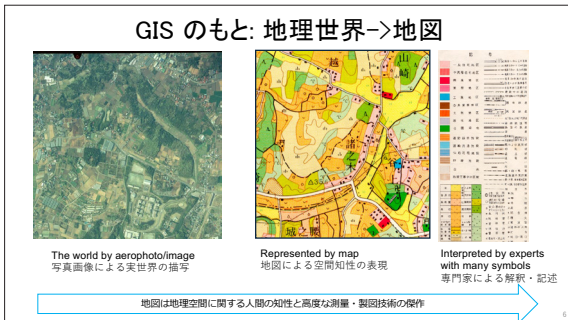






私は、今年度でリタイアするのですが、大学から「この30年間の教育研究の経験を書いてください」と頼まれて、このようなものを書きました。測量を学んだ私が何故このような都市や環境などの研究・教育をやっているのか、ご関心があれば、QRコードにアクセスするだけで読めるようになっています。先ほどの測量資格制度の話にもありましたが、測量分野は人気がない。給料が低い、きつい、外に行くのが大変だということなどで人気がない分野だと思われてるわけですね。

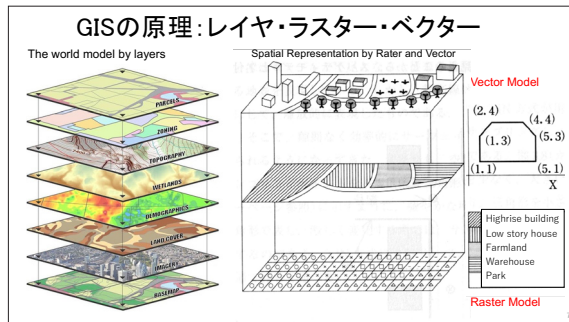
しかし一方、これが今日の私の話の中心でもあるのですが、実はいつも最先端なんです。最先端をリードしていくミッションを、この測量が持っているわけです。経度緯度を測量する。経度緯度も今はボタン1つになっているわけですが、座標を取って地図に落としてそれで終わりではないですね。さまざまな分野に活用していくというのが測量の持っている強みだと思います。コアを持ちながら、活用の分野はすごく広い。そういう意味で、私のこの文章の中に、一つ示唆があるかもしれないと思いましたので、参考にして頂ければ幸いです。



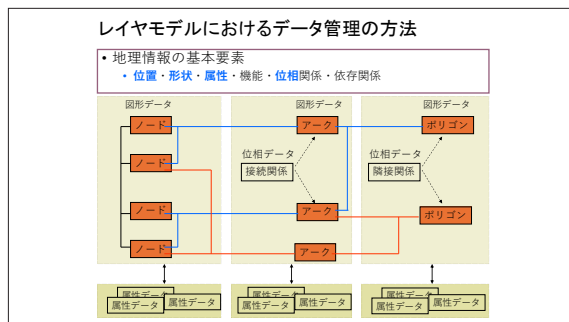
地図は、地上測量もありますが、航空写真測量によって作られる部分が多岐にわたります。この写真と地図の間、普通の人からすると、写真と地図って、大して変わらないと思われていますよね。しかし、この間にはすごく大きな隔りがあります。写真というのは、そのまま取ったものですから。しかし地図というのは、

皆さんのような技術者の高度な知識、解釈、知性が含まれています。

そして今、AIというものが叫ばれてるわけですが、このような素晴らしい地図が作れるAIはいまだ存在していません。この人間の知性、知恵をいかに具現化していく、あるいはデジタル化していくかというのが、今の時代に求められるものだと思います。ですから今、測量業務をやっている皆さんは、やっぱり絶対に自信を持って、すごい知性、知能をこの業界が持っているということを伝えていきたいと思っています。



では、デジタル化は、どのようにやっているのかというと、このような感じですね。デジタル化の原理とは、このように地図1枚1枚を展開してレイヤー化していくこと。それから、ベクター、ラスタというものが学生の時から習っていたわけですが、これは今でも全く変わっていません。現在AIを使っているのはラスタモデルの画像処理が基本です。ベクターの地図作成をAIができるかという、今はそのレベルにはありません。とても基礎的なところに私たちの技術のコアがあることをご理解いただきたいと思っています。当たり前ですが、スキミングして、画像処理すれば終わりというようなものではなく、地図の情報をどうやって表現するか、いかに処理するか、そこに基礎があるわけです。



このようなレイヤモデルにおけるデータ管理の方法は、GISの中では当たり前になっていますが、今のAIのモデルでは、このような高度なものではできておりま

せん。いかにこれから、このようなベクターデータでもAI処理ができるようになるかが、最先端の重要な課題になっています。属性処理についてはもういっぱい事例がありますけれども、例えば注記ですね。実はAIの処理では注記が頼りなんです。地域情報、言語情報、地名情報など、そのような注記の存在で情報の価値が生まれるわけで、今騒がれているイメージネットのようなデータも、全部アノテーションを付けて学習させています。ですから、空間情報を如何に蓄積し活用していくかが、これからのポテンシャルとなります。

GISの30年の発展	
世界	日本
<ul style="list-style-type: none"> <li>1988、米国地理情報分析センター (NGIA)</li> <li>1993、情報スーパーハイウェイ、インターネットの新时代</li> <li>2004、Webサービスとオンデマンド経済</li> <li>2005、Google Map、地図とネットの融合</li> <li>2009、オープンデータポリシー</li> <li>2010、デジタルツイン/サイバーフィジカルシステム (CPS)</li> <li>2012、ビッグデータ、機械学習</li> <li>2018、ChatGPT、GeoAI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1992年、GISA設立</li> <li>1995年、阪神大震災、GIS普及のきっかけ</li> <li>1998年、東京大学CSIS設立</li> <li>2000年代、ハザードマップの普及</li> <li>2008年、地理空間情報活用推進基本法</li> <li>2010年、国土交通省G空間EXPO</li> <li>2011年、東日本大震災、レジリエンス・ジャパン</li> <li>2017年、Society 5.0</li> <li>2020年代、デジタル田園都市国家</li> </ul>

GISの話は時間の関係もあるので、あまり繰り返しません。90年代以降大いに発展してきて、今は新しいフェーズに向かっていると思います。先ほどの国土強靱化の中でもすごい予算がつかまっていますね。しかし空間情報をどうやって扱うのが、統一されていない、すぐに使えないなど、色々な問題がまだ存在していますので、次のフェーズに向かって、もう一度考え直す必要があるように思います。

GISの限界	
空間モデリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>GISデータモデルは、基本的にマッピングレイヤーモデルに由来しています。</li> <li>GISの用途は依然として、地図作成、空間データの管理と分析に集中しています。</li> <li>GISのデータモデルは、変化する地理的時空間を記述、表現、検索を効果的にサポートできません。</li> </ul>
データ分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>GISは、「何を」「どこで」を答えるには得意だが、「なぜ」「どのように」のような複雑な時空間疑問やシミュレーションを行うことはできません。</li> <li>GISは複雑な地理的問題を推論、誘導、推論する能力を持っていません。</li> </ul>
空間表現	<ul style="list-style-type: none"> <li>GISは物理的な地理的表現、特に地図の使い方に適用します。人間の行動に関連する時空間情報の表示には向いていません。</li> <li>地図の表現、注記の付け方、地図の解釈は高度な空間的知識が必要です。簡単かつ明確に自然言語表現に置き換えることは容易ではありません。</li> <li>GISは時系列情報、マルチメディアデータ、VRデバイス、セマンティックテクノロジーなどの革新技術と組み合わせる力が欠けています。</li> </ul>

GISは、いまだに大きな限界があるというふうにいわれています。何が問題かということ、1つは空間モデル、先ほどの話題です。3次元の空間なのに、階段とか、高架など、色々複雑な空間になっているものはリアルモデルでしか表現できません。3次元要素間のつながりを上手に処理できず、モデルの限界が存在しています。

2つめはデータ分析です。GISの分析というと例えばルート検索などは得意ですが、それ以上の検索となる

とあまり上手にできません。何故なら地図というのは1次元や2次元の検索しか扱えないので、時間のシミュレーションが上手にできませんし、隣との関係性を、すぐに私が言うとおりに答えてはくれません。さらには表現です。地図の好きな人や私たちの分野の人は地図に馴染んでいます。世の中には地図が読めない人もたくさんいます。そういう方々にどうやって伝えるのか、そこから解釈する、言語化することが求められます。

自然情報と言語情報では、表現の手段が大きく違って、今流行っているAIは、言語化して答えてくれるので、ユーザは喜んで使いますが、「はい地図をどうぞ」とAIに言われてもうまく説明できない。そこに大きな隔たりがあります。このような、今抱えているGISの課題をどうやってつぶしていくのが研究の世界で重要となっています。当然我々もAIには、非常に大きな期待を持っていますので。

### AIの登場

人工知能 (AI) は、知的行動の自動化に関するコンピュータサイエンスの一分野

Source: (Zhan, Cheng, Xu, & Liu, 2020, p. 327)

機械学習 (ML) は人工知能のサブセットであり、データセットからのパターンの自動抽出に焦点を当てることで、機械/コンピューターが明示的なプログラミングなしに学習することを可能にする。

ディープラーニング (DL) は、複雑なニューラルネットワークを使用する特殊な機械学習である。ディープという用語は、ニューラルネットワーク内の多くの層を指す。

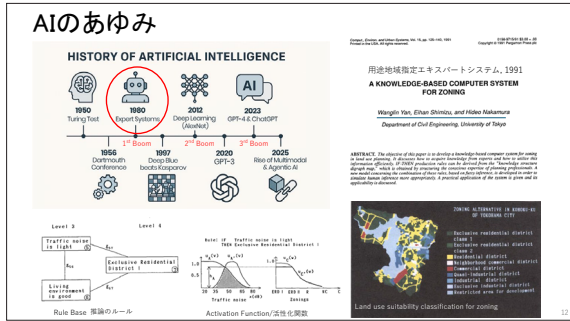
ジオデータは通常、地球の表面および表面付近に関するデータと定義される。ビッグ・ジオデータとはビッグ・データのうちジオデータという明確に定義された重要なサブセットを扱っている。

Goodchild, Michael F., and Steven L. 2021. "Replication across Space and Time Must Be Wielded in the Social and Environmental Sciences." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 118 (35). <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2021071118>

画像処理、あるいは言語処理の中では普通にAIや機械学習が使われています。とにかく何でも打ち込んで、機械に任せて何かやってくれるんじゃないかという、さらにニューラルネットワークというような高度なネットワークを用いて確率を定義して、何兆というオーダーのデータや変数をかけて期待される答えを導き出すようないわゆる深層学習といわれるものが、AIの世界は、今ブームになっています。

しかしここでもう一つ、非常に重要なのは地理空間データです。地球という世界があって、私たちの空間というものがあって、非常に膨大なデータが生まれているので、このAIがますます必要になっているわけです。ChatGPTのような大規模モデルは世界の辞書を全部打ち込んでいるようなもので、辞書だったらまだ、一単語一単語増えていっても全部扱いやすいのですが、地球そのもの丸ごとデジタルとなると、デジタルアースという動きもありますが、まだそこまでは完全にモデル化できていないのが、今の課題の一つです。で

すから、このジオ (Geo) ビッグデータには、AIが必要になってくるし、一方ではAIもこのような地理空間の問題を取り入れて新しい技術を開発することで、お互いの関係性を高める必要があるわけです。



ちょっとAIのあゆみを振り返ってみます。今AIはブームになっていますが、実は私が学生の時に、この(図上赤○印の)エキスパートシステムを研究していました。これはその1つで、1991年に発表した学术论文で、エキスパートシステムを使ってルールベースを構築し、土地利用のゾーニングを提案するというものでした。

何で30年後にまた同じことやっているのだろうと、不思議な気もしますが、当時は100個ぐらいのルールを自分で書いていましたが、今はもう何億以上のルールを自動的に作れるようになっていきます。ただ「コンピュータの力で意志決定を支援しよう」という課題意識の原点は変わっていません。第1次ブームのエキスパートシステム、第2次ブームの深層学習、そして第3次ブームの大規模モデルと進化し、扱えるルールや変数も飛躍的に増えてきているのです。

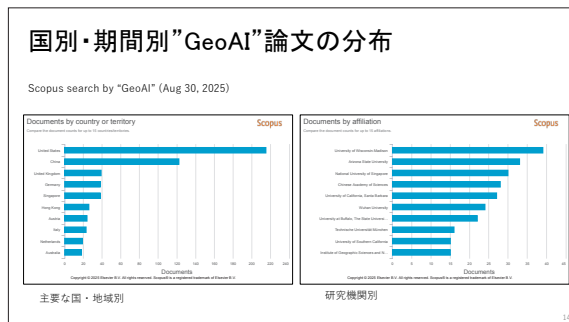
**GeoAIの登場と推進**

- ACM: Association of Computer and Machinery/米国計算機と機械学会
  - ACM SIGSPATIAL on GeoAI annually since 2017
- AAG: American Association of Geographers/米国地理学会
  - GeoAI Symposium annually since 2018
- ITU: International Telecommunication Union/国際通信連合
  - GeoAI Challenge under AI for Good since 2022
- ORNL: Oak Ridge National Laboratory/米国国防省オーラリ研究所
  - Trillion Pixel for GeoAI bi-annually since 2019
- OGC: Open GIS Consortium/オープンGISコンソーシアム
  - GeoAI Working Group
- Japan/GISA/地理情報システム学会
  - GISA/GIS&IoT->GeoCPS, Since 2016
  - GISA/GeoAI, Since 2023

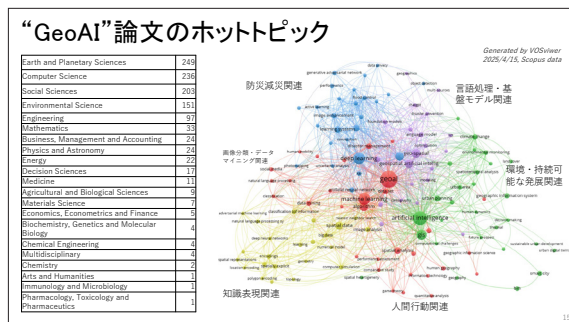
ChatGPTなどの生成AIの登場で、人間がAIに取って代わられるんじゃないかとか、新しい仕事はたくさん生まれるかもしれない一方でたくさんの方が失業するのではないかと、世の中は騒がしくなっていますが、確かに地理空間の分野は特殊とは言いながら、機械によって効率化したこともたくさんあります。例えば私が学生の時に、幾何補正などは全部手でやって

いたわけですが、今はもう完全に自動化されていて、誰も手でやってはいません。デジタル地形測量もレーザーで計測ただけで地形図が生まれるというような技術が確実に進んでいます。昔ほど労力は必要なくなったということですね。

しかし一方では、こうして作られたデータをどう解釈するか、どうやって高度に活用するのか、という場面でもAIが必要になってきます。特にアメリカでは2017年以降、コンピュータの分野で非常に有力な学会的組織であるACM (Association of Computer and Machinery) や地理学会、国際通信連合などで、GeoAIのシンポジウムやワークショップなどが、継続的に開かれるようになりました。そこで私は、日本でも学会の中で議論できることは議論しようということで、2023年からGIS学会にGeoAI分科会を立ち上げて、情報収集と研究調査を行っています。

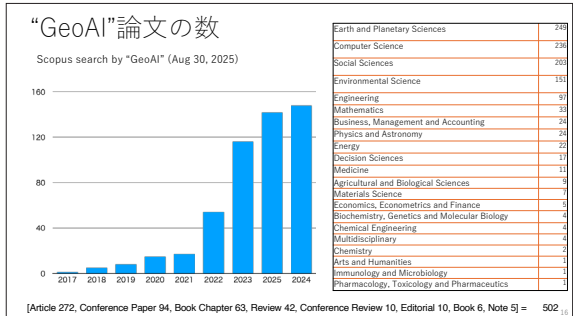


そうした中でGeoAIに関する論文の数を調べてみました。GeoAIという単語自体はまだ国内でほとんど使われていませんが、海外ではもう普通に使われていて、アメリカや、中国、イギリスでは毎年このように非常に多くの論文が発表されています。研究機関別にみてもウィスコンシン大や、武漢大学など、有力な研究機関が次々と資金と労力を投入して研究発表しています。



分野別には、どんな分野がホットなのか視覚化してみました。GeoAIが真ん中にありまして、深層学習、機械学習、AIというのが周辺にあって、この分野の

関係者たちが非常に熱心に行っていることが分かります。その周りに知識の表現とか、言語処理、画像処理、基盤モデル関連の開発など。それからビッグデータを扱うので人間が空間の中でどのように行動しているのかといったテーマ。そして注目したいのが、防災関係が非常に多いということです。後で出てきますが、分かりやすいテーマでもありますので、この防災関係の応用が非常に多く取り上げられています。



論文の数も毎年うなぎ登り。2017年に最初の1本が出ましたが、2024年には200本近く、非常に急成長していると言ってよいと思います。コンピュータというのは、とにかく競争がすごく激しい分野ですね。測量分野では、例えば「測位＝地上で座標を取る」というのはもう何十年も変わらないと思いますが、コンピュータのアルゴリズムは、日々新しいテーマ、研究発表がされるような状況にありますので、全然違うスピード感で、調査、研究は進められています。

データベース	検索語	ヒット数	種別
Cinii	深層学習、点群データ	13	学会発表: 9/学術論文: 4
Cinii	深層学習、衛星画像	9	紀要論文: 2/学術論文: 7
Cinii	深層学習、測量	2	学術論文: 2
Cinii	GeoAI	9	学術論文: 2/本:2/プロジェクト2
J-stage	AI, LIDAR, 都市	252	ジャーナル: 169
J-stage	AI, LIDAR, 測量	175	ジャーナル: 143
J-stage	AI, ビッグデータ, 空間分析	26	ジャーナル: 21
J-stage	AI, GIS	290878	ジャーナル: 203085
J-stage	AI, 人流	509	ジャーナル: 329
J-stage	AI, デジタルツイン	880	ジャーナル: 577
J-stage	AI, 地理情報	865	ジャーナル: 700
J-stage	AI, 地図	6058	ジャーナル: 4738
J-stage	AI, 地形図	819	ジャーナル: 743
J-stage	AI, 3D都市	71	ジャーナル: 43
J-stage	GeoAI	10	ジャーナル: 10

今日は測量分野の方が多いと思いますので、国内の測量業界の中では、AIがどう動くか、ちょっと調べてみました。CiNii ResearchやJ-stageという学術論文などのデータベースで検索してみると、「GeoAI」だけで検索すると10個ぐらしかヒットしません。でも、GISの関係しそうな画像処理とか、測量とか、点群データなど、私たちの分野で一般的な言葉とAIや深層学習というキーワードを組み合わせると、結構な数にのぼります。

### 国内・測量界におけるAIの活用状況(例)

- 深層学習、測量**
  - 空中写真を用いた市街地における車両検出法の適用可能性の検証 神谷 希志, 布田 孝志, 泉 裕一朗, 応用測量誌 28 99-107, 2017
  - 機械学習による標高の構成物の自動分類に関する研究 井上 雄太, 菊 雅美, 中村 友昭, 水谷 法美, 土木学会論文集2(海岸工学) 71 (2) 679-709, 2021
- 深層学習、点群データ**
  - 機械学習による点群空間を用いた航空機パイロットデータからの標高の抽出 飯倉 健太, 榊井 文樹, AI-データサイエンス論文集 1 (41), 320-328, 2020-11-11
  - 点群データを用いた深層学習による点群空間を用いた点群データの抽出 榊井 文樹, AI-データサイエンス論文集 1 (30)-1008, 2020-10-17
  - 機械学習による点群空間を用いた点群データの抽出 榊井 文樹, AI-データサイエンス論文集 1 (41), 320-328, 2020-11-11
- 深層学習、衛星画像**
  - 深層学習を用いた衛星画像からの点群抽出 門原 秀隆, 中井 大輔, 安田 高平, 宮本 隆, AI-データサイエンス論文集 4 (3), 867-872, 2023
  - 機械学習による衛星画像を用いた点群抽出 門原 秀隆, 中井 大輔, 安田 高平, 宮本 隆, AI-データサイエンス論文集 4 (3), 867-872, 2023
- AI, LIDAR, 都市**
  - 機械学習による点群空間を用いた点群抽出 門原 秀隆, 中井 大輔, 安田 高平, 宮本 隆, AI-データサイエンス論文集 4 (3), 867-872, 2023
  - 機械学習による点群空間を用いた点群抽出 門原 秀隆, 中井 大輔, 安田 高平, 宮本 隆, AI-データサイエンス論文集 4 (3), 867-872, 2023
- AI, 都市**
  - 空間の点群データを用いた点群抽出 門原 秀隆, 中井 大輔, 安田 高平, 宮本 隆, AI-データサイエンス論文集 4 (3), 867-872, 2023
  - 空間の点群データを用いた点群抽出 門原 秀隆, 中井 大輔, 安田 高平, 宮本 隆, AI-データサイエンス論文集 4 (3), 867-872, 2023
- AI, ビッグデータ, 空間分析**
  - 機械学習による点群空間を用いた点群抽出 門原 秀隆, 中井 大輔, 安田 高平, 宮本 隆, AI-データサイエンス論文集 4 (3), 867-872, 2023
  - 機械学習による点群空間を用いた点群抽出 門原 秀隆, 中井 大輔, 安田 高平, 宮本 隆, AI-データサイエンス論文集 4 (3), 867-872, 2023

この辺のキーワードを使って検索していくと、これはほんの一例ですが、画像処理というコンピュータの分野で広く開発されてきたツールが、GIS、あるいは空間、あるいは測量のデータ処理の中に活用されつつあるということが、見えてきます。ですからGeoAIと言わなくても、AIは使われているという側面はあるのですが、それとここでGeoAIと言っているものとは何が違うのかという話をしたいと思います。

### GISA/GeoAI分科会の活動

- 2016.4-2023.3. GISとIoT分科会。成果→GIS-理論と応用『空間融合の新潮流』、GeoCPS
- 2023.04.14. GeoAI分科会設置
- 2023.05.30. キックオフミーティング
- 2023.07.25. GeoAI Seminar '2023' Summer『AIによって拡張・深化するGeo』
- 2023.10.28. GISA大会企画セッション『空間情報システムから空間知能システムへGIS・AIのコンバージェンス』(講演会+ハズソン)
- 2023.12.26. 企画ミーティング
- 2024.04.19. GeoAI Seminar '2024 Spring『GeoAIからみた人流データの表と裏』
- 2024.05.29. 人工知能学会企画セッション『GIS学会におけるGeoAIの取り組み』
- 2024.07.05. GeoAI Seminar '2024 Summer『GeoAIの空間データモデル理論から応用まで』
- 2024.10.26. GISA大会企画セッション『GeoAI最前線』:講演会+ハズソン、電気通信大学
- 2024.12.20. 分科会企画ミーティング
- 2025.11.1. GISA大会企画セッション『GeoAI最前線』
- 2025.12.xx. GIS-理論・応用一主題特集:『AI時代のGISプロシティア』発行

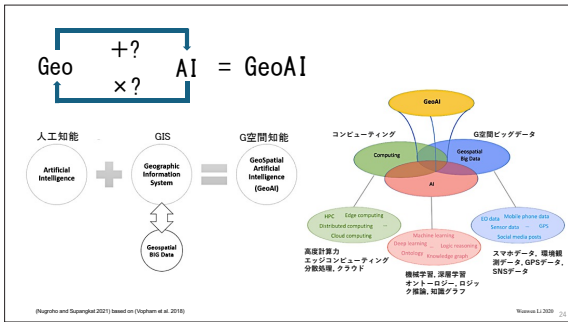
GIS学会では、2023年にそれまでの「GISとIoT分科会」の成果を引き継いで、GeoAI分科会を、新たに立上げました。GeoAIはどういうテーマなのか、あるいはどんな応用事例があるのかといったことを中心に、学会の中で活動しております。毎年一度の定期報告会や3か月に一度のセミナーを開いて、その時々々のテーマ、トピックを取り上げています。また11月1日に富山で開催されたGIS学会の大会で、「GeoAI最前線」という企画セッションを行い、ここまでの約3年間の活動は、「GIS-理論と応用」の特集として取り上げることにし

ています。年末には論文を読めるようになってきていると思いますので、ダウンロードいただければと思います。

立上げの経緯や主旨は、私の拙い文章ですが、この写真測量とリモートセンシング (2023 vol.62 no.2) の巻頭言に書きました。

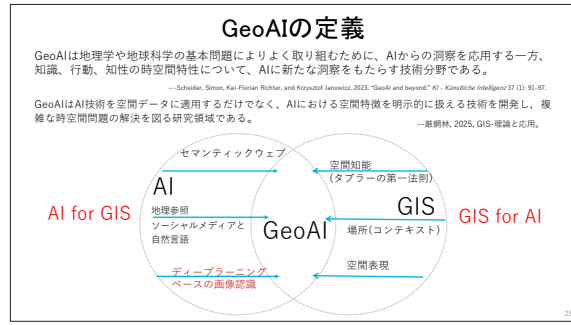


これは、日本測量協会の機関誌「測量」2023年4月号の巻頭言です。当時はまだフィーバーしていたわけではありませんでした。ただ、地理空間情報の広がりとして、このような取り組みがあるということ、皆さんには知っていただければと思います。

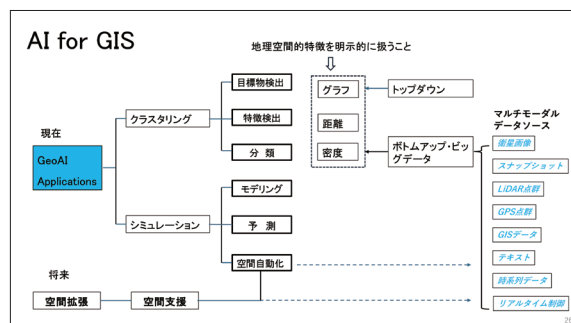


それでは本題に入りたいと思います。まずGeoAIとは何かということですが、単純に言うと、人工知能+GISでビッグデータを使うと定義されることもあります。あるいは(右側の図を指して)、もう少し格好よさそうに書かれるものもあります。

GISで扱いたい空間データもスマホの移動情報や点群情報など、巨大になってきて、これまでの計算機ではとても対応できませんでした。それが、コンピュータの計算力や情報通信基盤の性能が各段に上がって、クラウド処理、それから機械学習、深層学習などさまざまなアルゴリズムが高速に実現できるようになったので、世の中のありとあらゆる空間情報を何でも打ち込んでAIに処理させようという考え方は、自然の流れのように思います。どんな結果が出てくるかは、また別の問題ですが。



というわけで、言い換えれば、地理的、地球的、あるいは空間的な問題に、AIの力も借りながら、また私たちが持つ専門的な知識もAIに学ばせて、伝えて、よりよい答えを出してくださいという意味で、このGeoAIを定義すればよいと思います。あくまで問題解決に役立つかどうか。そういう意味でGISとAIは、お互いギブアンドテイクの関係とっていいでしょう。AIにはアルゴリズムがあるから、それですぐやってくれるかという、それは期待外れが多いと思います。もちろん先ほど申し上げたように、画像処理とか、データ処理にはAIのアルゴリズムが使えますので充分役立ちます。こういう部分は、AI for GISと呼ばれています。一方では、近隣関係とか、空間的に地図の表現をもっと上手にしたいとか、そういうことはやはり空間の知識がないとできない仕事です。それは今のAIではできません。GISはこれからのAIの進歩にも貢献できると期待され、GIS for AIと呼ばれています。そこに測量業界が活躍できることが多いので、みなさんもそういう意識でこれらの言葉を捉えていただくとよいと思います。

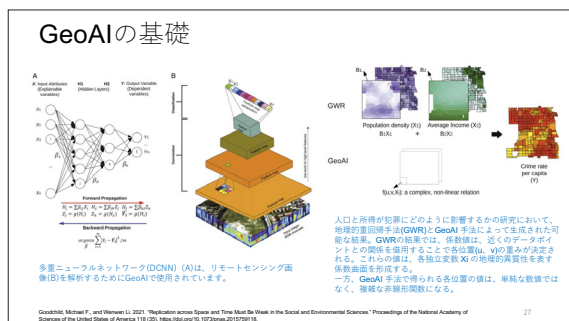


AI for GISには何があるのか、ちょっと簡単にレビューしてみます。これは皆さん、よくお分かりのことと思いますが、クラスタリングして、シミュレーションして、分類する。例えばLidarの処理をして目標物を検出するなど。大体は点の密度とか、距離などの幾つ

かのパラメーターを使って、それで検出しようとするわけで、その辺はだいぶ事例が蓄積されていると思います。

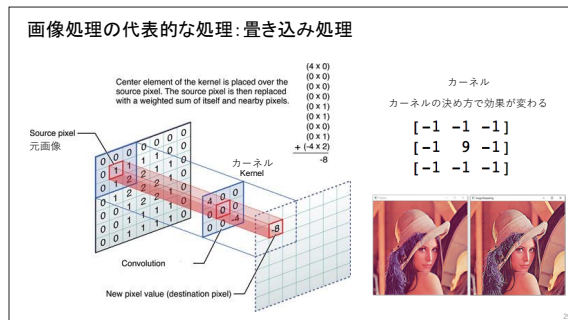
ただ、アプローチの仕方は、トップダウン的なやり方と、ボトムアップ的なやり方の2つがあります。これはAI全般に共通するものです。トップダウンのやり方というのは、私が昔研究していたエキスパートシステムのようなもので、「私はその問題の解き方を分かっています」という前提で、このような知識構造だろうとか、このようなモデルだろうと想定して、データを入れて関係性を解明しようというものです。もう一つ、ボトムアップというのは、「私はその問題の解き方を分かりません。でもデータはいっぱいあります」というパターンです。クラウドにデータをどんどん入れて、それで何か結果が出るじゃないか、いわゆる深層学習の考えですね。従来の知識のモデリングとか、物理的、空間的原則を尊重したモデリングも使っています。これがもう一つのアプローチです。

ここで一つお伝えしたいのは、この右側の部分です。これはいずれも私たち測量に携わる人にはおなじみのデータソースです。今までは一種類のデータだけで処理していました。画像は画像だけで処理していましたが、これからは、或いは今はやりなのは、AIに全てのデータを混ぜこぜにして一緒にやらせるというものでマルチモーダルという考え方です。ChatGPTなどの生成AIに、何か言葉やデータを入れると、それっぽい画像が生まれてきますが、マルチモーダルのデータを入れて、ボトムアップ処理をするというのが今の一つの流れです。

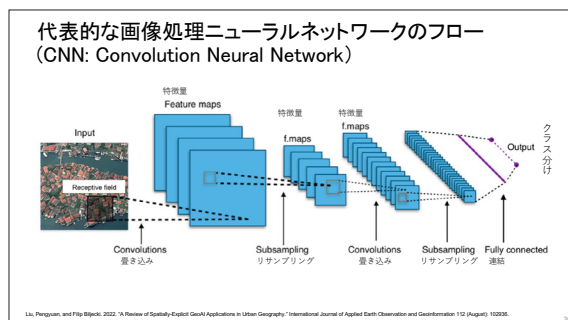


ここは時間の関係もありあまり詳しく説明しません。画像処理の世界では、多重ニューラルネットワークというAIの技術を使って、画像のマルチレイヤー、即ちグーグルアースみたいに、広い視点の画像も狭い視

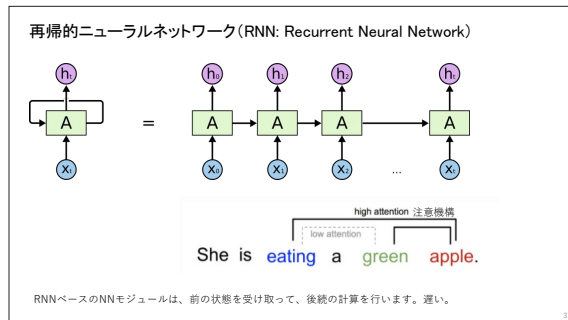
点の画像も全部インプットし、色々なものと併せて最後に学習させるというのが、一つのモデルになっています。また、例えば人口密度は都内と郊外とで全然違うというように、地理的な偏りを配慮したモデルが必要となり、GWR (地理的重回帰モデル) というアルゴリズムがAIの中でよく使われていて、色々な手法が既に存在しています。



これだけではなく、今はやりのAIの基礎的なキーワードをいくつか紹介します。1つは、畳み込み処理です。画像の圧縮とか特徴抽出の処理は、以前からみなこの畳み込み処理が基本となっています。

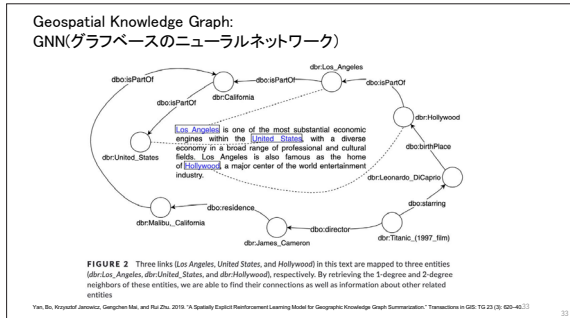


今はCNN (畳み込みニューラルネットワーク) という手法で、人物や動物の抽出、目標物の抽出などに使われており、AIの活用が一番うまくいってる分野だと思います。

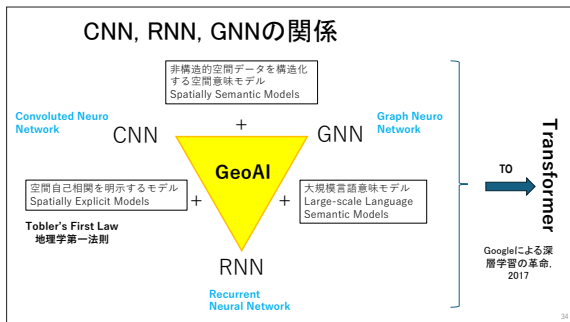


もう一つは、再帰的ニューラルネットワーク (RNN) と呼ばれるもので、非常に重要な技術です。言葉や入力データの中の単語は、みんな同じ重みではないです

ね。例えばShe is eating a green apple.は、食べることとリンゴというのが重要な単語なので重みを大きくし、それ以外のaとかisなどは副次的な単語であり、重要な単語さえ押さえておけば、全体の意味を理解できるようになるという考え方です。言語処理の中では、今これが基本になっています。RNNは、このように前の単語が来たら、次の単語を理解するという逐次処理なので、時間はかかりますが、1次元の文字列とか、音声など時系列処理に向いています。



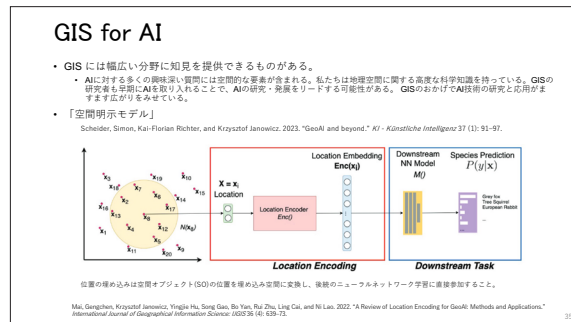
さらにもう一つがGNN、グラフベースのニューラルネットワークです。点と線で構成されるグラフ構造のデータを直接処理、学習できるものです。Los Angeles is one of the most substantial economic engines... ロサンゼルスはアメリカの一番重要な経済の中心でありまして、その周りで... という文章があると、みなさんの頭の中に、グラフ(位置関係)、知識の構造が浮かぶと思いますが、それをそのまま扱えるのがGNNと呼ばれているものです。



このように知識を表現するものとして3つのキーワードがあるのですが、画像処理のためにはCNN、時系列処理のためにはRNN、知識の構造を表現するにはGNNというように、各々得意不得意があるので、相互に利用するのがよいといわれています。重要なのは、GISの中に取り入れるためには、地理的な相互関係が必ず求められるということです。それができないかできないかが、GeoAIの成否にかかっているわけです。

CNNなら何となく画像の隣の関係性を考慮するので、よく使われています。RNNはあまり地理情報の中では使われていません。GNNは使うようになってきました。トポロジー関係とか、位置の位相関係などをネットワークとして表現することに強みがありますので。

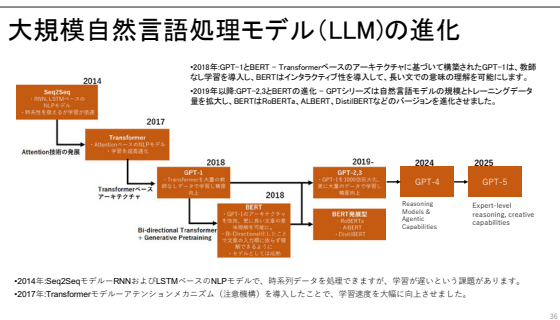
ということで、AIの3つのコア技術を紹介しましたが、この3つの技術だけでは、今のAIムーブメントは起きません。何故ならCNNは画像に限定されているし、RNNはいちいち来るのを待っていて処理が遅い、というわけであまり革命的ではなかったのです。そこに今、非常に重要な進歩をもたらしているのがTransformerというものです。ご存じの方もいらっしゃると思いますが、2017年にGoogleが開発したTransformerの機構によって、今までのRNNとかCNNとかいちいち言わず、自己注意機構のもとで、お互いの関係の全てを徹底的に解析する仕組みで、これを実装したのがChatGPTです。ChatGPTはデータ辞書に自己注意機構というのが組み込まれていて、言語処理に関しては、レポートを書くのに充分耐えうるものになっているわけです。また、今は、画像処理にも使えるようになっているし、音声処理も、マルチモーダルの空間情報処理にもTransformerがたくさん使われるようになってきました。今後の発展が期待できる技術だと思うので、皆さん、関心がある方、若い方々はぜひ勉強されるといいと思います。



AIの世界で、何がGISに求められているか。GISからAIに空間情報を渡すというのが、私たちの狙っているあるいは測量業界の皆さん考えるべきところだと思っています。例えば、このように測量点がいっぱいあるとします。今まではこうやって地図に落として、等高線を描いたりとか、目標物の形を描いたりとか、地図としてのアウトプットしかなかったわけです。それはそれで大切なのですが、でもさらにそれを言葉に置き換えて、「なぜこうなっているか」とか「標高が高いと

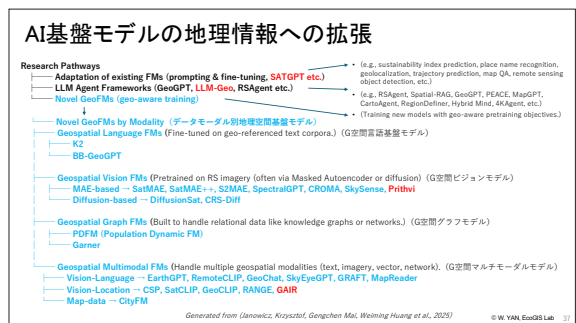
ころ、低いところ」といった言語で表現したいと思うのです。それを処理するためには、(真ん中の赤い枠を指して) このように空間明示的なモデルに入れなければなりません。このためのエンコード、要するに全部並べ直して、それで一列の、一つのデジタル空間に打ち込んで、それで学習できるようにしていく必要があります。これが「GIS for AI」、GISにAIという観点で今求められているものです。これは座標だけなら簡単です。座標リストをつくれればいいわけですから。でも座標もあれば、言葉もある、画像もあると。これら全ての地理情報が関係しているわけですから、この地理情報を全部一緒に並べてデータ処理できるようにしなければいけないのです。

これができるかというとなかなか難しいとは思いますが、でも皆さん考えてみてください。今のChatGPTが何でこんなことができるかという、単語を全て数量化してるのです。単語を全部512次元あるいはそれ以上というレベルで数量化し、それで単語と単語の足し算、引き算ができるようにしているわけです。「国王と皇后、これを足すと王子が生まれる」というような言語の演算ができるようになってくるわけで、そうすると、数量化に強い地理情報も同じようにデータ化して、演算できるようにしなければいけないというような発想です。それならすぐに、私たちがプログラミングしないといけないかもしれませんが、少なくともその辺のコンセプトは既に生まれています。



その中で今、どこまでできているのか、少しご紹介したいと思います。これはLLM (Large Scale Language Model)、ChatGPTの進化を示したものです。細かいことは別として、2018年はいわゆるChatGPT-1、その後2、3と進化し、今は4、5になってるのですが、どれだけ皆さんChatGPT使っていますか？(会場に挙手を求めると多くの聴講者が手を挙げたのを見て) もう何らかの形で普段使っている方が多いですね。まあ信用でき

ないものも多いので、自分で判別しながら使っているということだと思いますが、いずれにせよここには言語的な機能が含まれています。

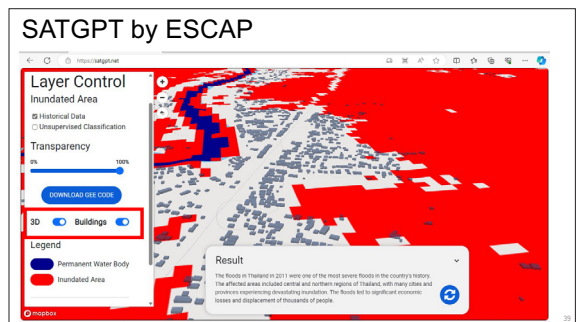


この言語処理、ChatGPTの基本はLLM、非常に大規模な辞書モデルです。その辞書モデルをGISで使えないだろうかということなのですが、LLMを空間情報にも引用したいという研究は、最近の論文を見てみると大体3つのやり方があることが分かります。

1つは、プロンプト。今のChatGPTのように、プロンプトに地理情報のキーワードを入れて、それで処理できるようにしましょうというもので、一番易しい使い方です。結果はそれほど高度ではないと思いますが、テーマを限定させれば、それなりの表示は出てくると思います。一番ローレベルですが、これが1つの方法です。

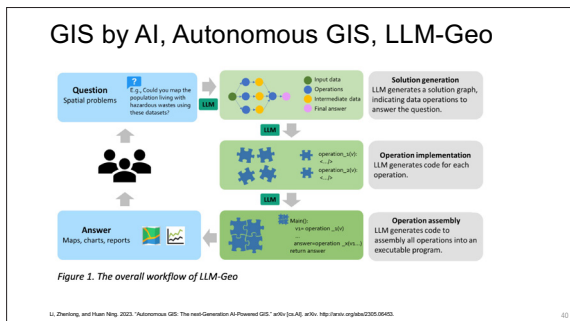
2つめは、Agent Frameworkというもので、処理の中にもう少し手を加えて、データも、自分のデータをカスタマイズできるようにするものです。これも一つのアプローチです。

3つめは、もっと高度な地理情報の位置関係、空間情報を理解できる形のモデルを構築するものです。この3つのレベルの研究について、今日は時間の関係で、赤字で示しているSATGPT、LLM-Geo、Prithvi (ブリツヴィー) の3つの事例を取り上げて紹介します。

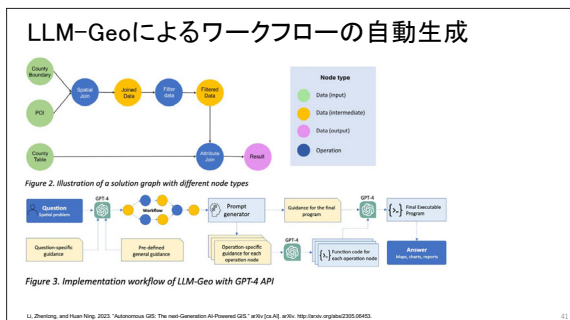


SATGPT。これはESCAPというバンコクにある国連の機構が構築したもので、バンコクエリアを対象に、

AIで洪水の状況を、解析というほどではありませんが、表示するものです。このような形で「バンコクの〇〇年の洪水情報はどのような状況だったのか」というような質問を投げると、ちゃんとシミュレーションして表示します。このような事例だったら、ある地域に特化して情報を集積、集約して、このようにプロンプトをちょっとだけ工夫すれば、普通の人でも検索できるような応用例です。先ほど1つ目の講演で、国土強靱化の取り組みが様々なところで行われているというお話がありました。防災分野は非常に重要なテーマですので、情報さえ集約できれば、利用可能になると思います。

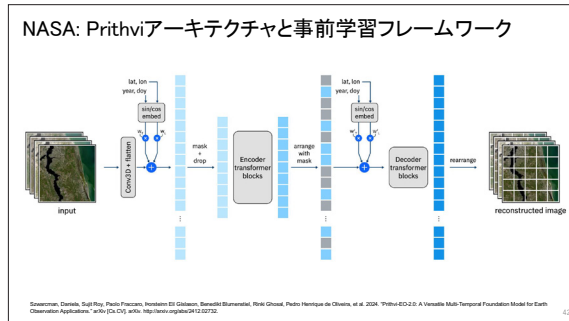


次の例、LLM-Geoは、もうちょっと高度になって自律的に処理してくれるものです。問題を投げると、その問題を言語解析して、言語の中のキーワードとか、質問とか、データとかの関係をグラフとして再構成し、そのグラフをもとにしてプログラムを自動的にコード生成して、そのコードから最終的に地図を打ち出すというような、自律的なGISツールが研究・報告されていて、公開ツールとしてダウンロードできるようになっています。



これは一例ですが、このように県の境界とか、POIすなわち重要な目標物とか、それから属性テーブルとか、これらを自動的にプロセス構成してくれます。これはArcGISのモデリングみたいなもので、まだ私が望んでいる、中のコンテンツの知識解釈ができるようなレベルではありませんが、データ処理のプロセス自体は自動的に構成してくれるようになっています。ワー

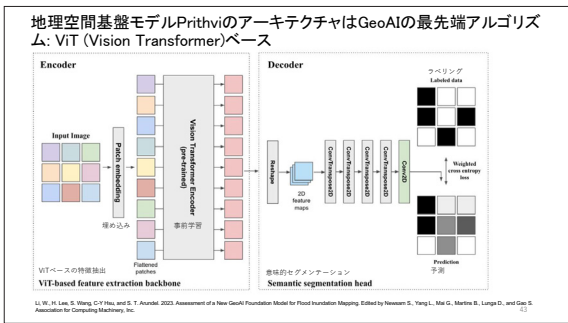
クフローの自動生成ですね。これだけの業務処理、レポートを全部人間がやろうとすると大変ですよ。でもまだ今は、基本的に人間がやっているわけです。定型業務であれば、ワークフローの自動化が可能で、もうAIでも十分にできるはずですので、この辺は取り入れたほうがよいと思います。



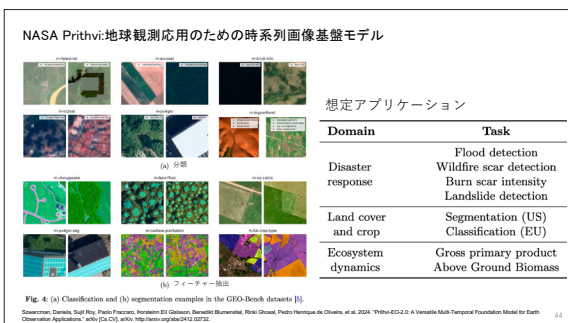
最後の例、これは私が最近一番重要と思っているものですが、先ほども紹介した防災分野での開発事例です。IBMとNASAが、他の機関とともにPrithviアーキテクチャと呼ばれる洪水の大規模モデルを開発しました。インプットは衛星画像です。たくさんの衛星画像をこうやって集めて、それを画像処理のメカニズムに並べ直します。ここで使われているのがTransformerです。Transformerは、画像自体も全て単語のようなトークンに分割します。トークンといっても、普通のI am a teacher.みたいな単語の単位です。画像を小さく分割して小さなトークンの集合にして、全部並べ直します。そして並べたものをTransformerに打ち込んで、それを再構成すると、お互いの演算、計算ができるようになるというわけです。水のトークンのエリアと山のトークンのエリアは全く違うので、そういうような関係をこのデジタル空間の中に埋め込んで、それで処理できるようになっているわけです。

さらに「この辺はどうなるんでしょうか」と予測するわけですね。十分に学習してあれば、次に何が出てくるかを予測するのがAIの能力になります。例えば、隙間があると「周りのデータからすると、あれが出てくる可能性が一番高い」というような予測もできます。これは全部Transformerのメカニズムとして処理されるわけです。詳しく話すと時間がかかってしまうので今日はこれ以上触れませんが、若い皆さんは、このようなアルゴリズムを基にして、AIを学習していけばよいかなと思います。

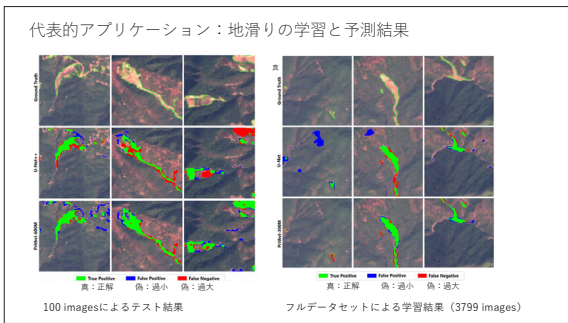
エンコーディングとはデータ処理して並べ替えをして



計算できるようにすること。デコーディングとは、データ処理した結果、もう一度戻して、図面なり、言語なりに出力する。その間の処理はAIが行うんですね。AIは事前に学習する必要がありますから、事前に処理できないと、当然その場で答えが出てこないの、規模が大きければ大きいほど時間がかかります。これは今一番有名なモデルですが、アメリカで開発されたものです。日本は、防災、減災の分野にたいへん強みがありますので、皆さんも是非こうした開発をして、活用していくのがいいのではないかと思います。

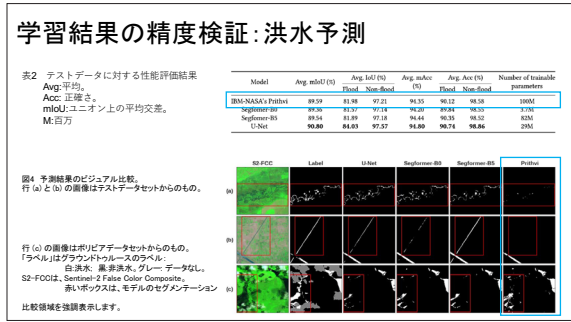


このほかにも、災害の応答だとか、土地利用の分類だとか、生態系の動的な処理など、色々な事例で、既に応用が始まっています。



これは地滑りの予測の結果として、この論文の中に報告されているものです。一番上の段が実際の範囲、一番下が、Prithviでの結果です。過大評価、過小評価のところもあるようですが、変数として600ミليون、6億の変数を扱ってるわけですから普通の計算機では

当然できません。



これは洪水関係の予測の結果。一番右がこのモデル、Prithviでの結果です。他のモデルとも比較していますが、80%の正解率というふうに報告されています。

**総括: 機械学習における説明可能性の問題 (GeoXAI)**

ディープラーニングの大きな問題点

```

    graph LR
    A[Input Layer 入力層] --> B[Hidden Layer 隠れ層]
    B --> C[Output Layer 出力層]
    
```

AI技法開発が先行、ブラックボックス、社会的検証は少ない

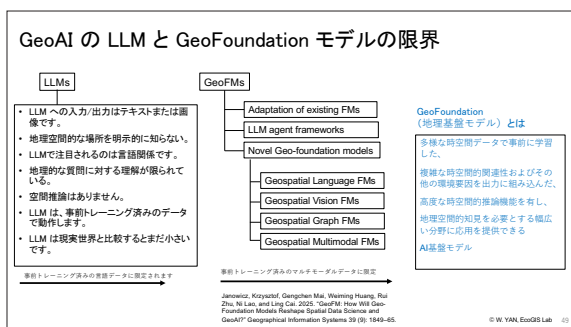
- 再現性(Replicability)の問題: 類似データ、類似手法で類似の知見が得られるか。
- 再生産性(Reproducibility)の問題: 同様なデータ、同様な手法で同じ結果が得られるか。

Explainable AI: XAIの開発で改善を図る。→GeoXAI

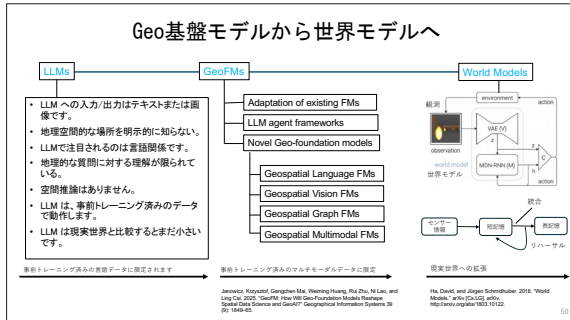
空間相関関係の解釈には、SHAPを使用したXGBoostのような空間的に明示的な予測モデリングがよく使われます。Eg. 地理的加重回帰を取り入れるなど。衝突事故と道路利用の密度および港への隣接性と強い相関関係を示しました。

Xing, Jn, and Renee Sabar. 2023. "The Challenges of Integrating Explainable Artificial Intelligence into GeoAI." Transactions in GIS 27 (3): 628-45.

機械学習とかAIとか、世の中の期待は大きいですが、私たち測量分野で議論してるミリ精度、センチ単位の精度のものが、今すぐ自動で出てくるというようなことは、あまり期待しないほうがいいと思います。レポート作成とか文章処理などは当然力になるとありますが、精度検証のところは当然、従来の知識が必要です。言い換えると入力層と隠れ層、出力層との間のギャップが大きいのです。何を学習させて、隠れ層を説明するかですが、ここは従来の知識が必要になり、かつそれを解釈できるAIの開発が必要になるわけです。この解釈は、私たち人間が持っている知識で解釈するわけですから、人間が解釈できないものは、どんな解釈をAIが返してきても人間は信用しません。その辺のことを考える必要があるのです。



モデルについて言うと、言語モデルLLMと、地理空間で扱えるGeoモデルには大きな違いがあります。Geoモデルは、今まさに開発途上で、どこの国もこれを最先端の分野として取り上げていますから、日本もそれに遅れないようにする必要があります。地理空間情報はAI時代の社会基盤ですので、新しい時代の科学技術のコア技術として研究開発しないとイケないでしょう。まさにこのGeo基盤モデルというところに力を入れる必要があるだろうと思います。



余談ですが、GeoAI、Geoモデルというのは、まだあくまで仮想世界、コンピュータの中の話だと思ったほうがいいですが、今やロボットとか自動運転などは、まさに実世界の中でそのまま運用しているAIですよ。これらはやはり実数の観測をリアルタイムに高精度にやりとりしてるわけです。AIの中ではこれをワールドモデル、世界モデルと呼んでいます。地図になっている、あるいはデジタルになっているコンピュータの空間から、もう一度実世界に入ったワールドモデル。これはもうAIの中では既に研究が進んでいて、(図の右側「観測」のところを指して) 観測の話は、今日の講演会でも取り上げられていますが、これはまさに私たち測量の強みではないかと思えます。積極的にこういうような、ロボットの世界にも測量が出てくるのが望ましいと思います。

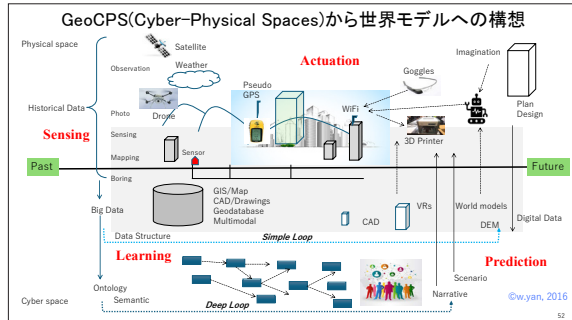
### 空間知能の開発へ

- 人間の知性には、対人コミュニケーションに反映する「言語的知性」と、周囲の世界を理解し、対話に反映するための「空間的知性」があり、後者はビーチの砂の城からタワーマンションに至るまで、頭の中で視覚化したものを設計図に起こし、実際につくるために役立つものでもある。
- AIのゴッドマザーと呼ばれるLi Feifeiが手がけるWorld Labsは、その一助となる「空間知能 (spatially intelligent AI)」の開発をミッションにする。
- 空間にある物の位置・形・大きさ・向きなどを素早く正確に推論する空間知能は、都市そのものが知能を持つスマートシティなどの大規模モデルの開発に欠かせない。またロボットに搭載された場合、自主的に自分の任務の目的や環境を感じ取り、判断・行動することを可能にする。
- World Labsは、この精度を上げることで「人類とAI、そして空間認識の架け橋」となることを目指すというのだ。

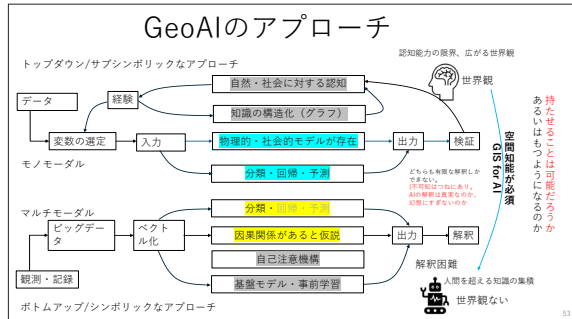
Li Feifei, Vogue Interview, <https://www.vogue.co.jp/article/innovator-fei-fei-li>

AIのゴッドマザーといわれているLi Feifeiという科学者がいます。彼女は、空間知能というものを研究開

発しているのですが、彼女は「今の大規模モデルのAIはいずれ行き止まりになるだろう。実世界のモデルができないと、AIの革新は生まれえない。空間の人間知性をデジタル化して、AIとして実装可能にしないと、新しい、本当のAIはできないだろう。」と言っています。現場に入って測量する私たちが、やはり空間的な知性を一番持っている人種だと思います。そういう意味でも私たちは研究を進め、この「本当のAI」に研究成果を返していければよいと思っています。

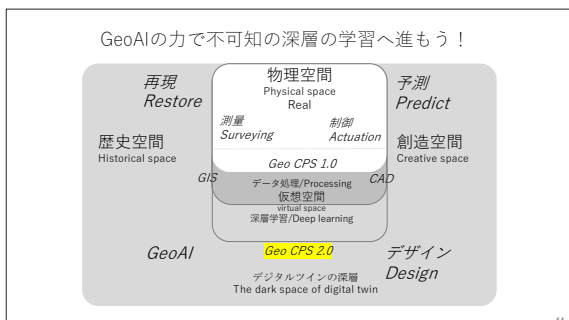


この図は、私が2016年に描いたCyber-Physicalモデルのイメージですが、この中にはまだ全然AIは組み込まれていません。今後これにAIを実装し、世界モデルへと発展させていければと思っています。

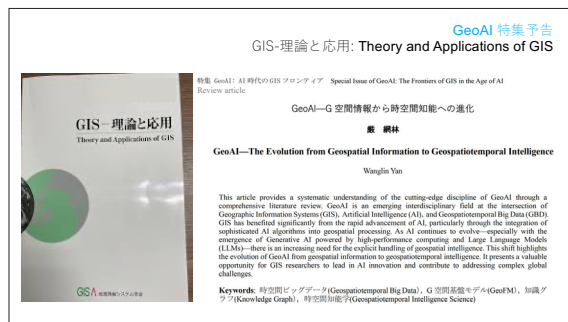


今まで私たちは、統計などのデータ処理を従来の知識モデルで、トップダウンのアプローチでやってきました。一方で、ビッグデータで何でも学習させるというのが、今のAIのアプローチです。でも、結果的にはAIだけでは解釈できないわけですから。解釈できるモデルと、解釈できないボトムアップのアプローチを結び付けてあげる必要があるだろうと思っています。それには、私たちが空間知能をどれだけ持っているかが問われます。AIが世界を理解してるわけではありません。私たち人間こそが、自分の世界観を持ち、何を指すのかが分かっているわけですから。AIが人間を超えるという恐ろしい時代がくるかもしれないといわれていますが、お互い知識を伝えて、与えて、それで学習して、

そうすればお互い解釈できるようになるかもしれません。そのような気持ちで、この新しい技術革新を、皆さんと一緒に目指していけたらいいかなと思います。



今、私たち一人ひとりが知ってる部分はすごく狭い範囲のものしかないですね。でも、コンピュータの中にあるバーチャルの世界はたくさんを知っているかもしれません。それをうまくお互い学習し合って、実世界を動かさない限りは、抽象的なものでもアウトプットにならないと思います。お互いの行き来が非常に求められる時代になると思いますので、皆さん、一緒に頑張っていきましょう。



そろそろ時間です。最後に一言。この年末に出る予定のGIS学会の「GIS-理論と応用」(Vol.33, No.3, pp.si-1-si-14)に、「GeoAI-G空間情報から時空間知能への進化」という論文を書きました。今日の話はその論文にまとめてあります。皆さんのご参考になればと思います。ということで、私の話はこれで終わりたいと思います。ありがとうございました。(拍手)



本稿は2025年10月23日に開催された、当協会主催「社会・技術動向講演会2025 in東京」における、巖 網林氏の特別講演の内容をまとめたものです。