

日本情報地質学会・地質情報整備活用機構 共催シンポジウム 2017

地質調査と資源開発のためのICT/IoT/AI技術に向けて

講演論文集

Proceedings of
2017 Geoinformatics - GUPI Symposium

日 時：2017年11月30日(木)

会 場：飯田橋レインボービル（東京）

共 催：日本情報地質学会

特定非営利活動法人 地質情報整備活用機構

協 賛：一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

後 援：公益社団法人 日本地質学会 情報地質部会

日本情報地質学会・地質情報整備活用機構 共催シンポジウム 2017

地質調査と資源開発のためのICT/IoT/AI技術に向けて

目 次

Society5.0 と地質調査・資源探査

古宇田 亮一 1

高度情報化鉱山操業のためのスマートマイニング構築

川村 洋平 3

地球科学におけるデータ駆動型解析

桑谷 立 23

Society5.0と地質調査・資源探査

古宇田亮一*

On the Society 5.0 with geological and resources investigations
by Ryoichi Kouda *

*探査情報技術協会 Institute for Exploration Information Technology E-mail:rykouda@gmail.com
地質情報整備活用機構 Geoinformation Utilization and Promotion Initiative E-mail: koudar@gupi.jp

キーワード: Society5.0, 新たな経済社会, 人工知能(AI), 三次元空間データベース

Key words: Society5.0, New Economy and Society, Artificial Intelligence(AI), Three Dimensional Spatial Database

(要旨) 日本情報地質学会は、情報地質学的な観点で地質調査と資源開発などのための地質学と情報学に関連した諸課題を研究している。地質情報整備活用機構は、地質・ボーリング調査・物理探査等とジオパーク振興など地質情報の整備と活用の観点で活動している。共に地球科学とその社会的・産業的な進歩への寄与に取り組んでいる。中核となる技術基盤は、地球科学と情報科学の融合である。ここに、近年、注目を集めた情報技術による社会的・産業的な発展の国家的取り組みといえる「Society5.0」について解説し、海洋・地球科学へのインパクトも含めて解説する。

人工知能的な手法は、日本情報地質学会でも、その設立初期に AI 特集号を組む(情報地質 Vol. 2, No. 2, 1991)などで主体的に取り組んできた。この当時は、AI 研究の第二次ブームと言われ、第一次ブームは 1970 年代を通じてあったが、1970 年代当時の計算機環境は必ずしも適切とは言い難かった。現在の、特に 2010 年代後半は AI の第 3 次ブームともいわれており、様々な家庭電化製品や自動車等の移動機器、医療機器、あるいは鉱山機械等にネットワークとの組み合わせで活用が図られ、IoT (モノのインターネット: Internet of Things) とも言われている。最近、AI 技術の発展に関心が高まったのは、AlphaGO や PONANZA のような囲碁・将棋において、AI が人間のプロに連勝したことの寄与が大きい。それ以前にも、IBM 社の Deep Blue がチェスの世界王者を破り、その後、Watson がテレビのクイズ番組で勝利するなどの影響もある。技術的な核になったのは機械学習や深層学習、及び、ビッグデータの容易な利用である。深層学習はニューラルネットの延長上にあり、情報地質 AI 特集号 Vol. 2, No. 2(1991)においても、ニューラル・コンピューティングは中心的で主要なテーマだった。

2010 年代後半における AI 技術は、より産業応用的でインターネットと結合した製品が次々と生み出されており、その動機、ないし理由として、日本では少子高齢化に伴う産業構造・就業構造の変化があげられている。即ち、単なる技術的な進歩以上に、切羽詰まった社会的必要性からとされ、そのため「Society5.0」が声高に掲げられるに十分な根拠があった。

この「Society5.0」は、2016 年度に始まる第 5 期科学技術基本計画と密接な関係をもつ。「5.0」と呼ぶのは、ドイツの「Industrie4.0」に対抗したテーマといわれるが、人間社会の歴史的発展を狩猟・農耕・工業・情報社会と捉え、「Society5.0」に至って、「新たな経済社会」(高度スマート化社会)とする考え方である。技術内容的には IoT と共通性がある。

講演では、「Society5.0」の地質調査と資源開発への影響を考えるため、産学官連携と国際共同による「Society5.0」の展開の事例と、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の事例等を紹介する。自動走行システム、電気自動車、新たな建設技術等、日本の産業構造を根本から変えるといわれている新たな技術に必要な 3 次元空間データベースが、「Society5.0」を様々な分野で支えるキー概念とされている。3 次元空間データベースは、地質調査と資源開発にとっても重要であろう。

主に、以下の URL を参考にした(順不同)。

- ・内閣府: 科学技術基本政策 <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>
- ・国土交通省: i-Construction～建設現場の生産性革命～(2016.4) <http://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>
- ・経済産業省: Society5.0・Connected Industries を実現する我が国の戦略分野と取り組みについて(2017.4.28@構造改革徹底推進会合) http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/innovation_dai4/siryou3.pdf
- ・経団連: Society 5.0 実現による日本再興～未来社会創造に向けた行動計画～(2017.2.14) http://www.keidanren.or.jp/policy/2017/010_gaiyo.pdf
- ・久間和生: 我が国の科学技術イノベーション戦略- Society5.0 実現に向けて- (2016) http://www.eng.kobe-u.ac.jp/forum2016/lectures/161128_神戸大学_講演45分_Web用.pdf
- ・安西祐一郎: AI, ビッグデータ, IoT の研究開発と Society5.0 の実現(2016.10.4@JSPS) <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sympo1610/kichou.pdf>
- ・栗山浩樹: Society5.0・Connected Industries の実現に向けて(2016.7) http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin_sangyoukouzou/pdf/016_07_00.pdf
- ・萩原恒昭: Society 5.0 と IoT 等への取組み(2016 経団連) https://www.jpo.go.jp/shiryou/toushin/shingikai/pdf/newtokkyo_shiryou016/03.pdf
- ・碓井照子: i-Construction, Society5.0 と地理教育必修化～NPO 法人全国 GIS 技術研究会による学校教育支援活動～(2016) <https://www.npo-zgis.or.jp/report/161027/456>

高度情報化鉱山操業のためのスマートマイニング構築

川村 洋平*

Development of Smart Mining Technology for Highly Computerized Mining Operation

Youhei Kawamura*

*秋田大学, Akita University, 1-1 Tegata-Gakuenmachi, Akita, Japan.
E-mail: y.kawamura@gipc.akita-u.ac.jp

キーワード：スマートマイニング, ICT, ディープラーニング, 鉱山 VR
Key words: smart mining, ICT, deep learning, mining VR





高度情報化鉱山操業のための スマートマイニング構築



秋田大学 国際資源学研究科 川村洋平

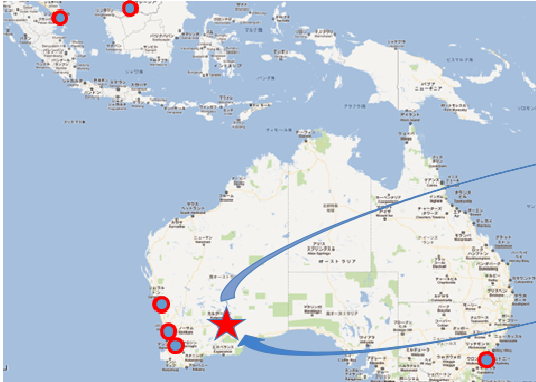


Academic Career



2003—2012	筑波大学, 講師
2012—2014	Curtin University WASM Lecturer (Australia)
2014—2015	Curtin University WASM Senior Lecturer (Australia)
2015—2016	筑波大学, 准教授
2016～	秋田大学, 教授

Mining Technology Lab.





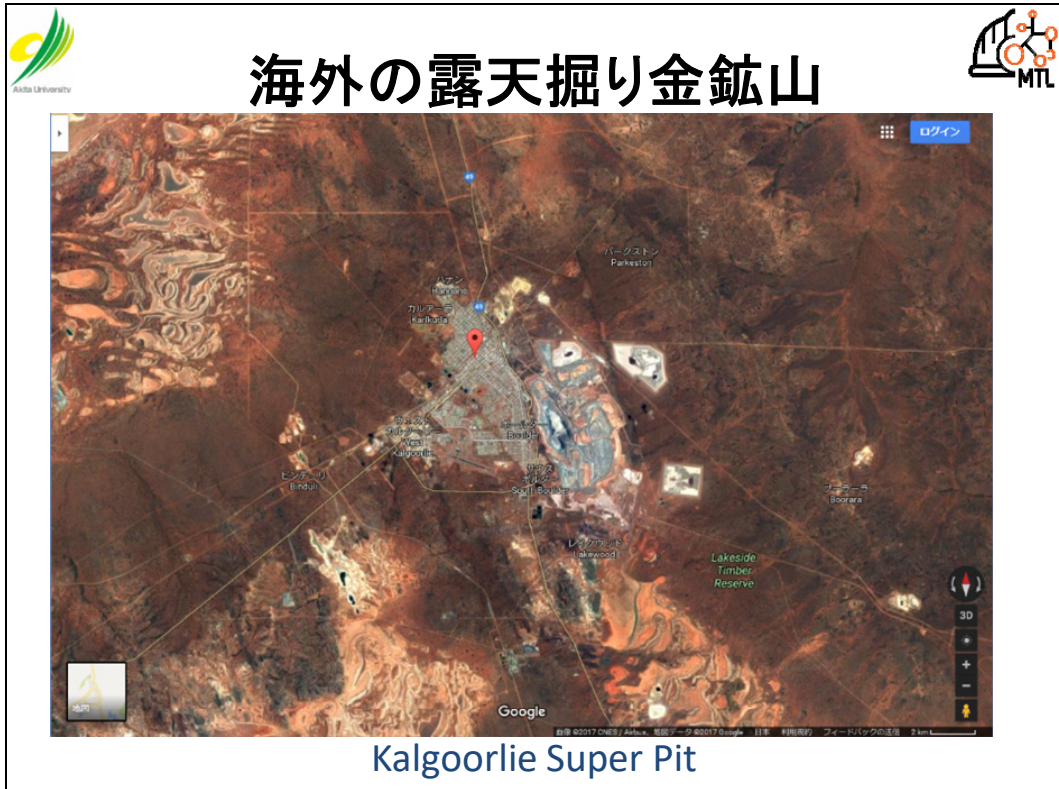


海外の露天掘り金鉱山





Kalgoorlie Super Pit



採鉱: 露天掘りから地下鉱山へ

• 利益が出るのか? → 技術革新
スマートマイニング

Vertical shaft

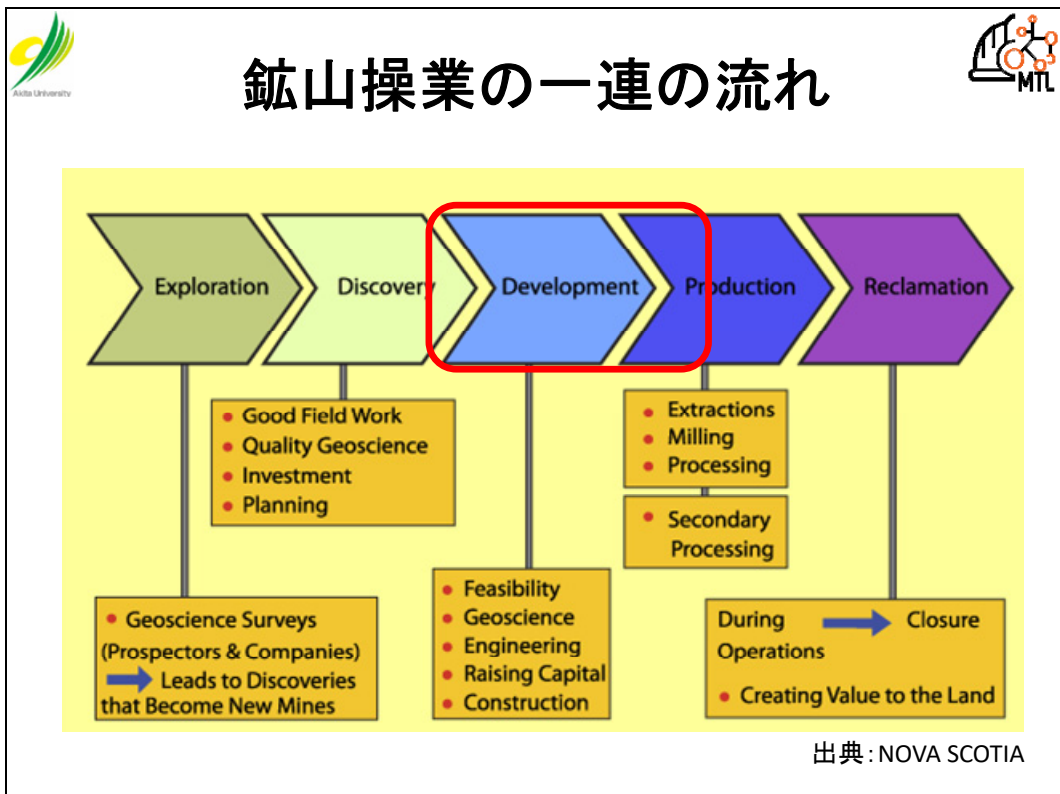
Decline

Horizontal drive

鉱物

ただの岩・土

利益?





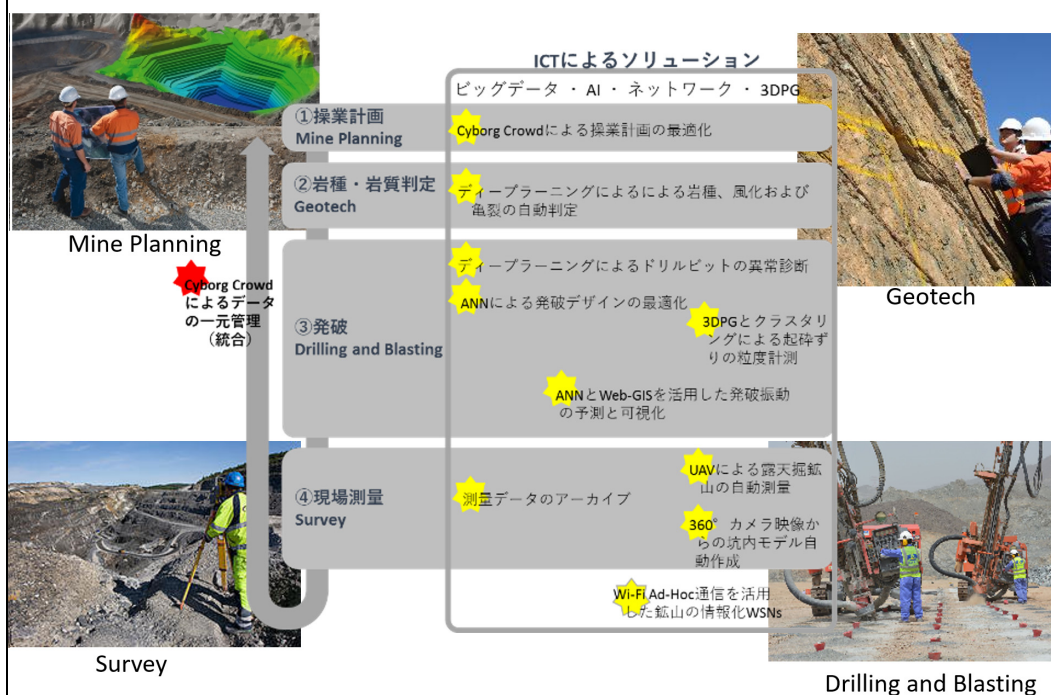
採鉱（開発と生産）

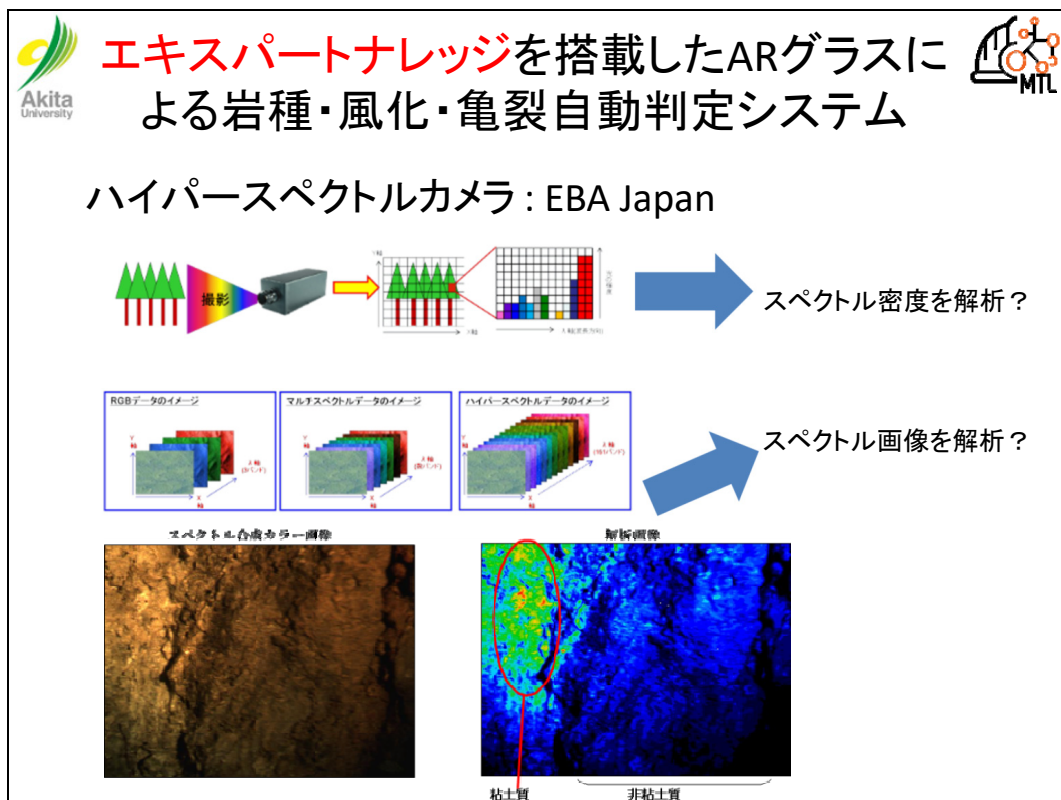
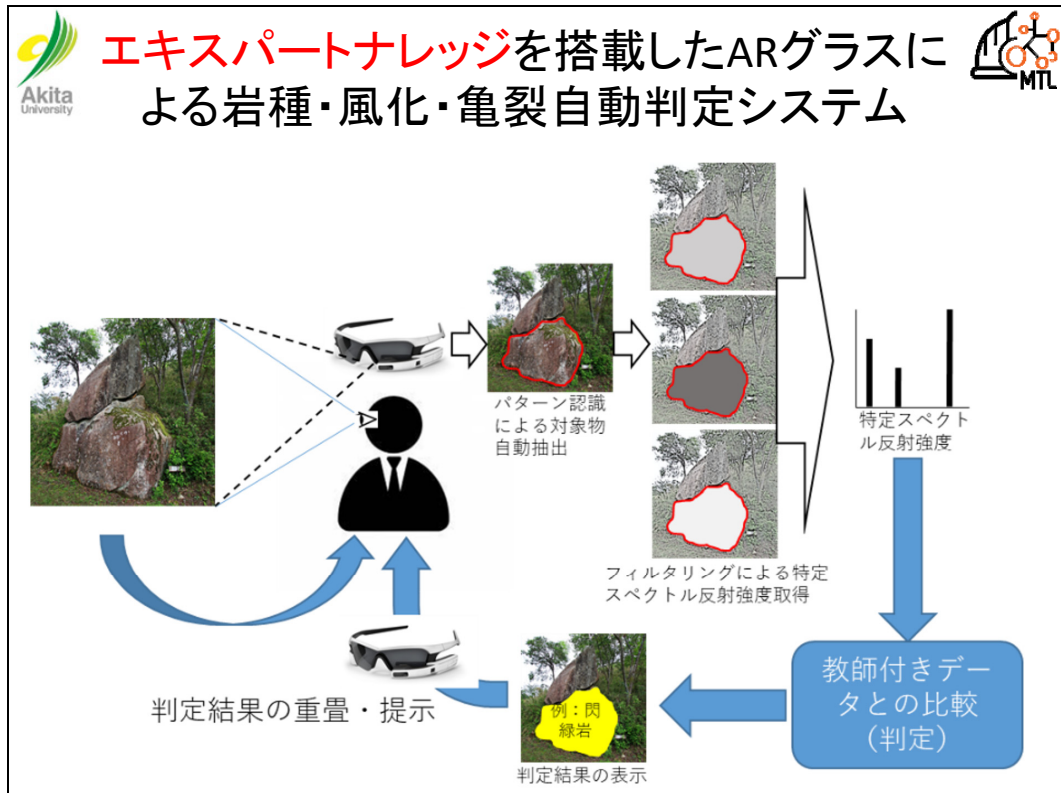


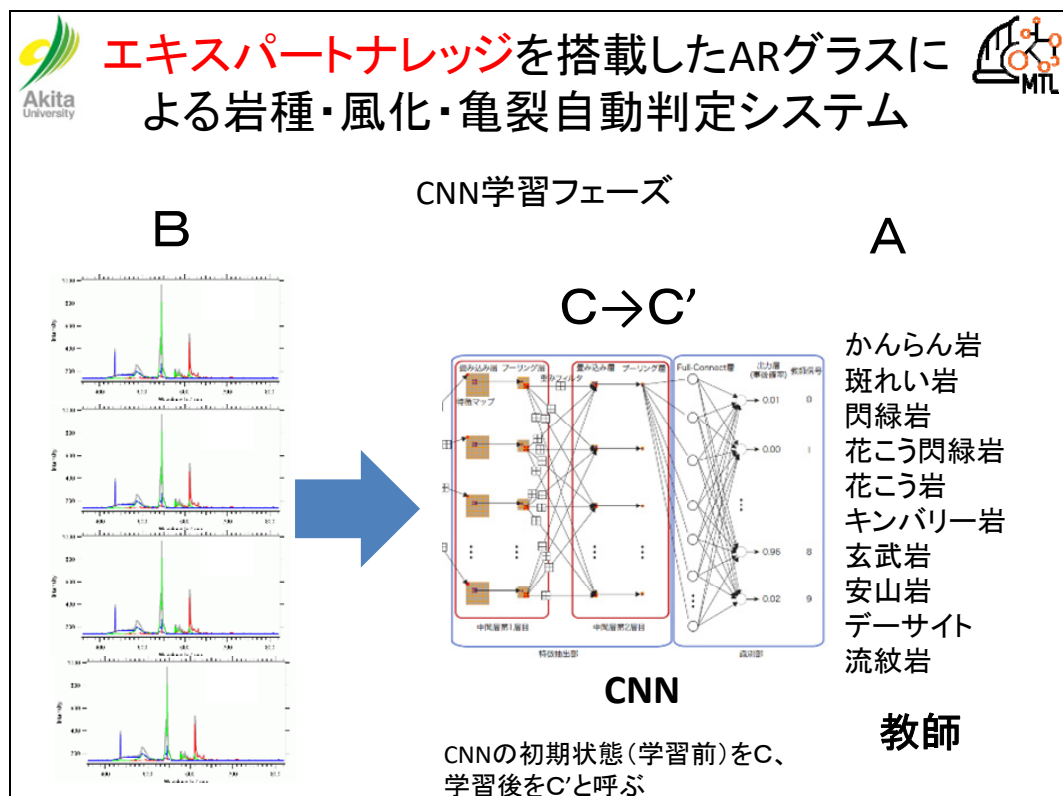
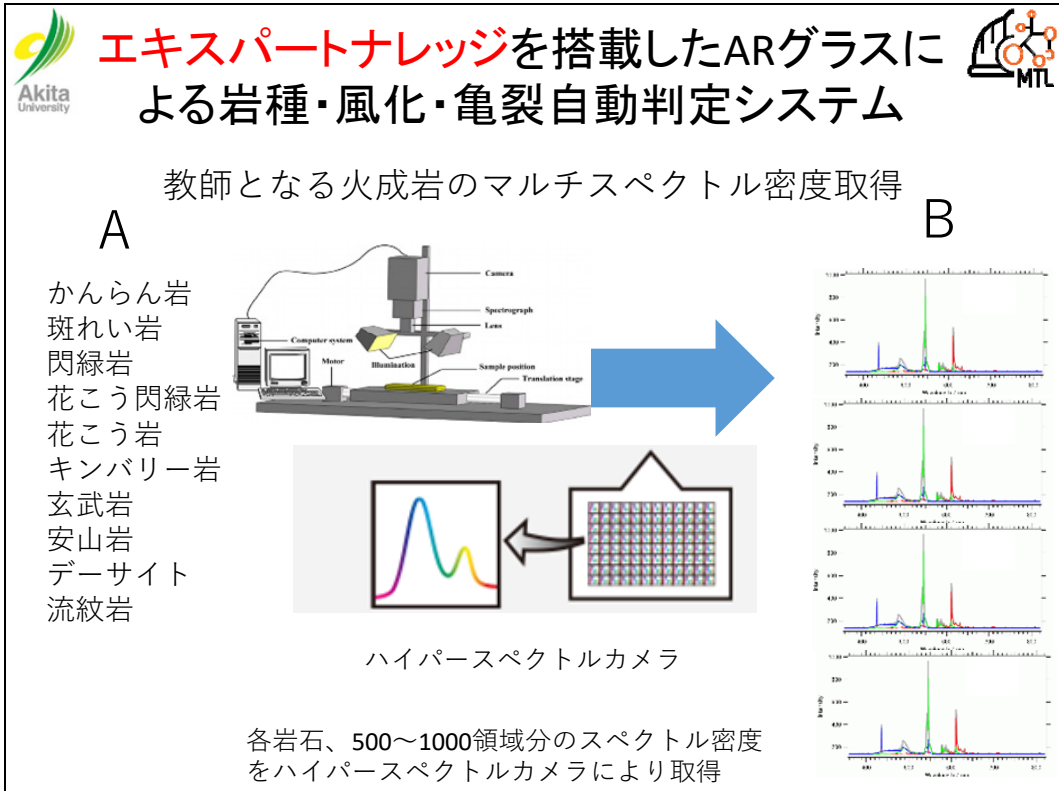
Mining and Mining

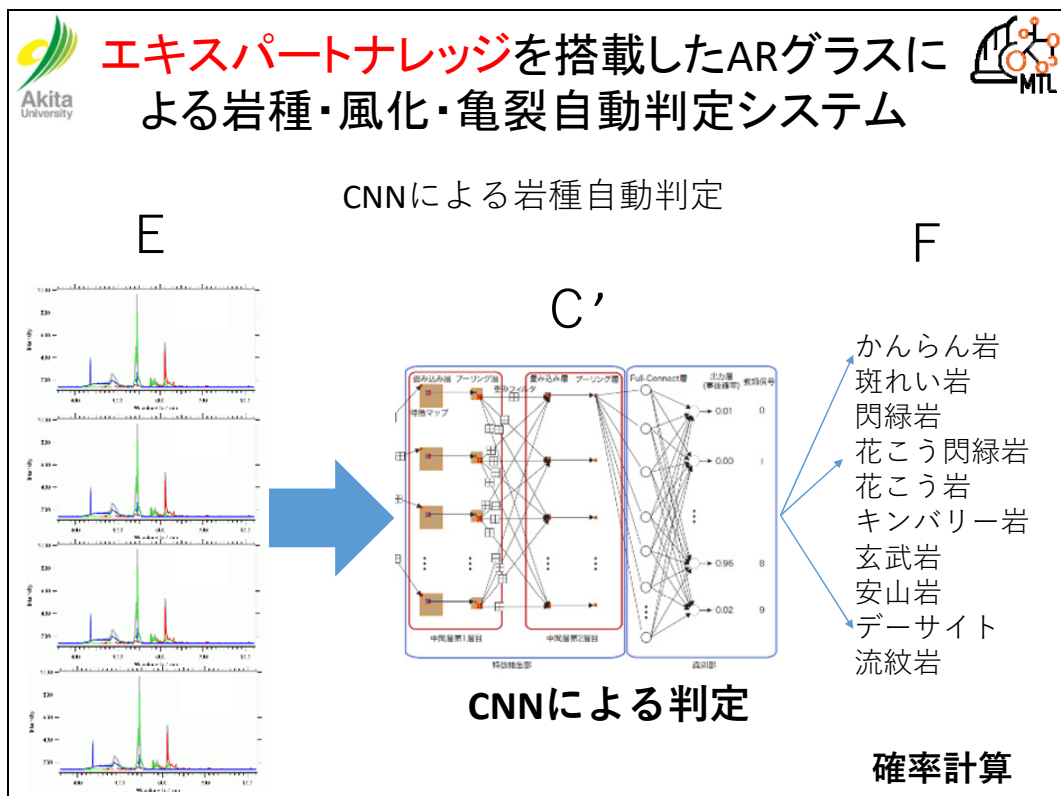
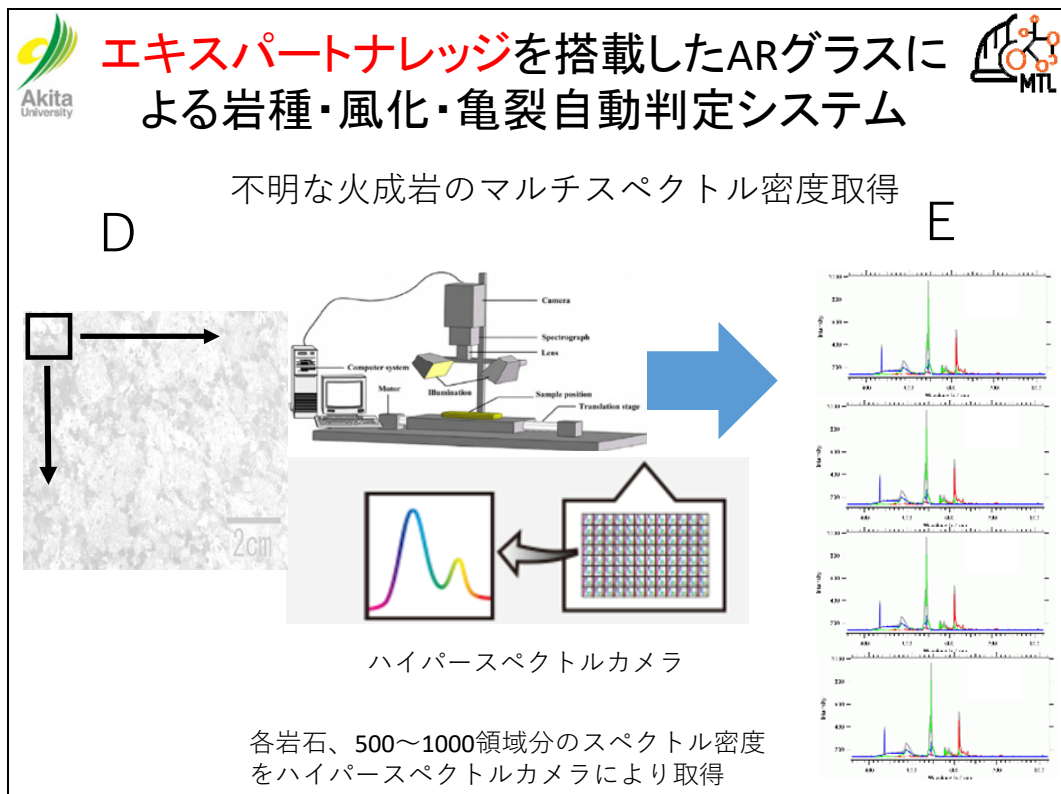


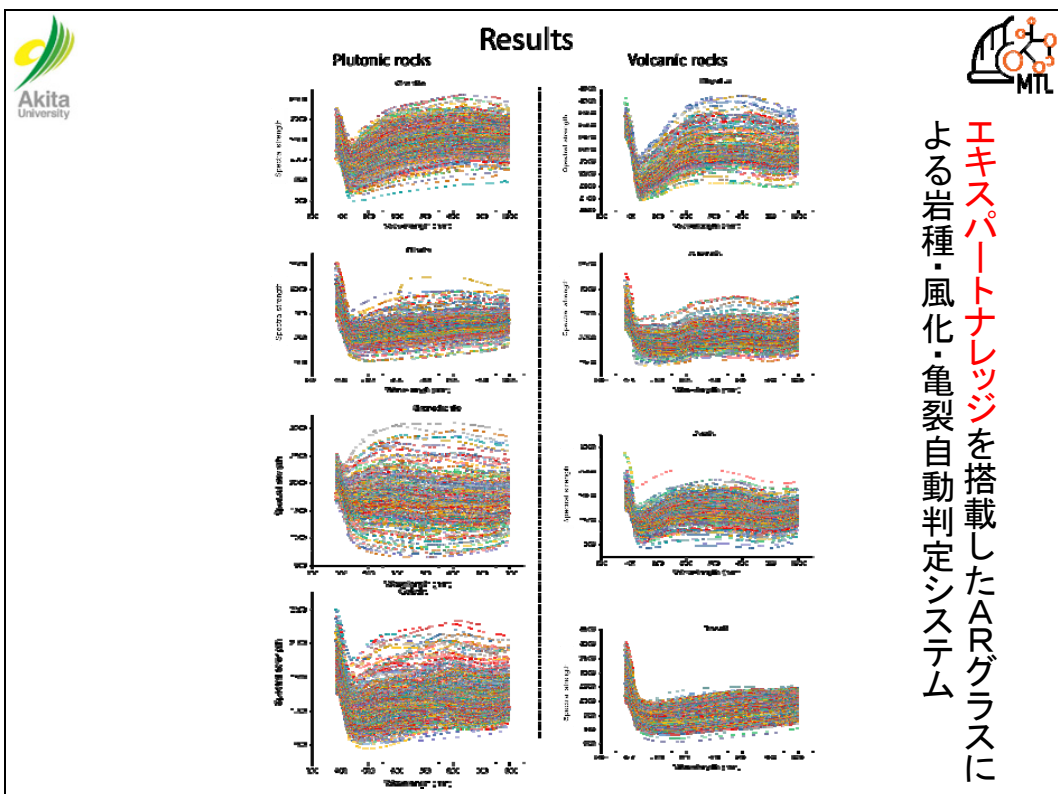
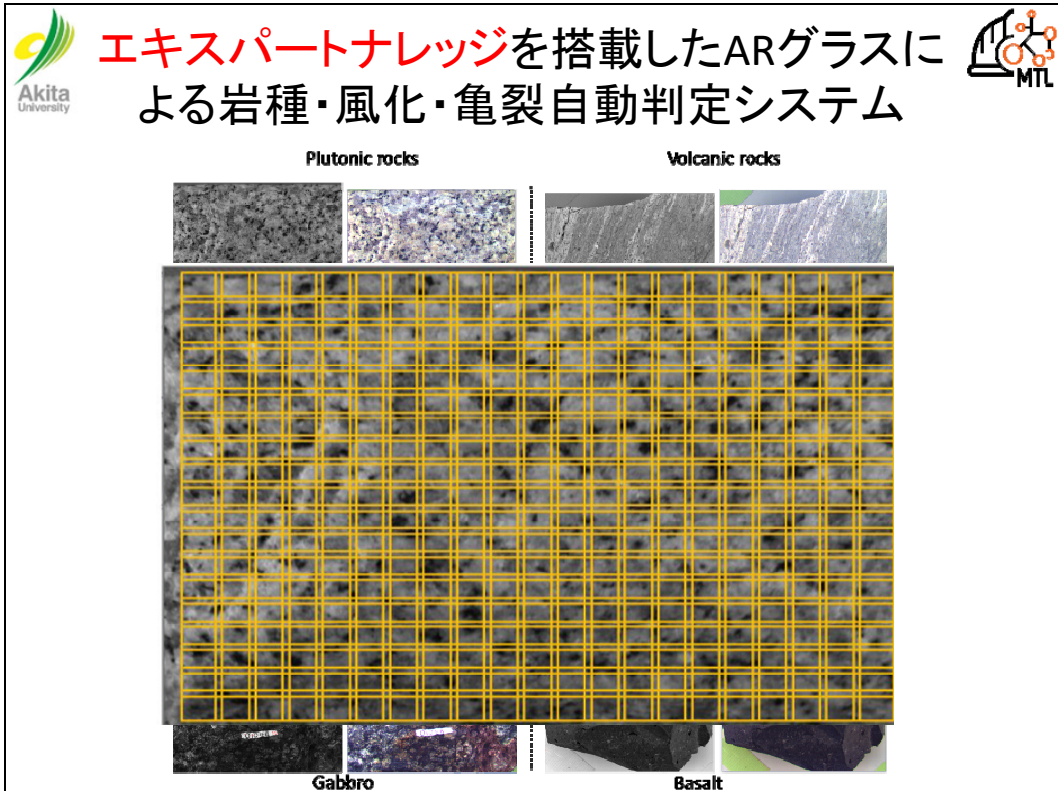
研究内容と操業サイクル



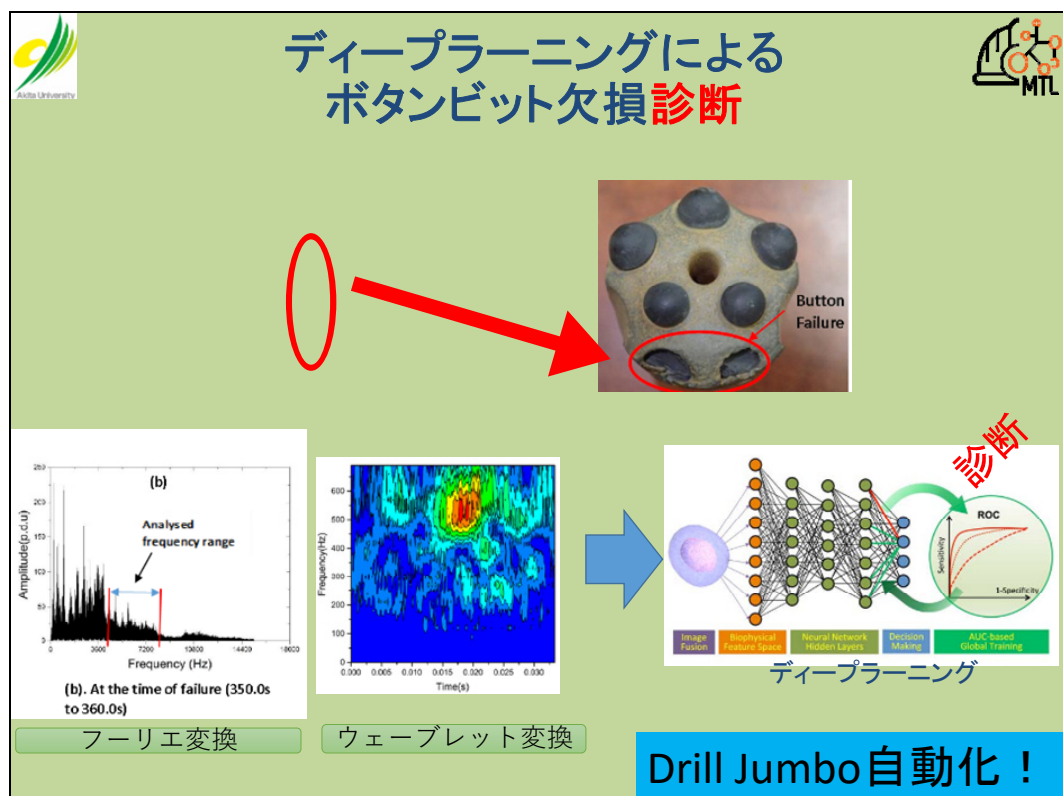
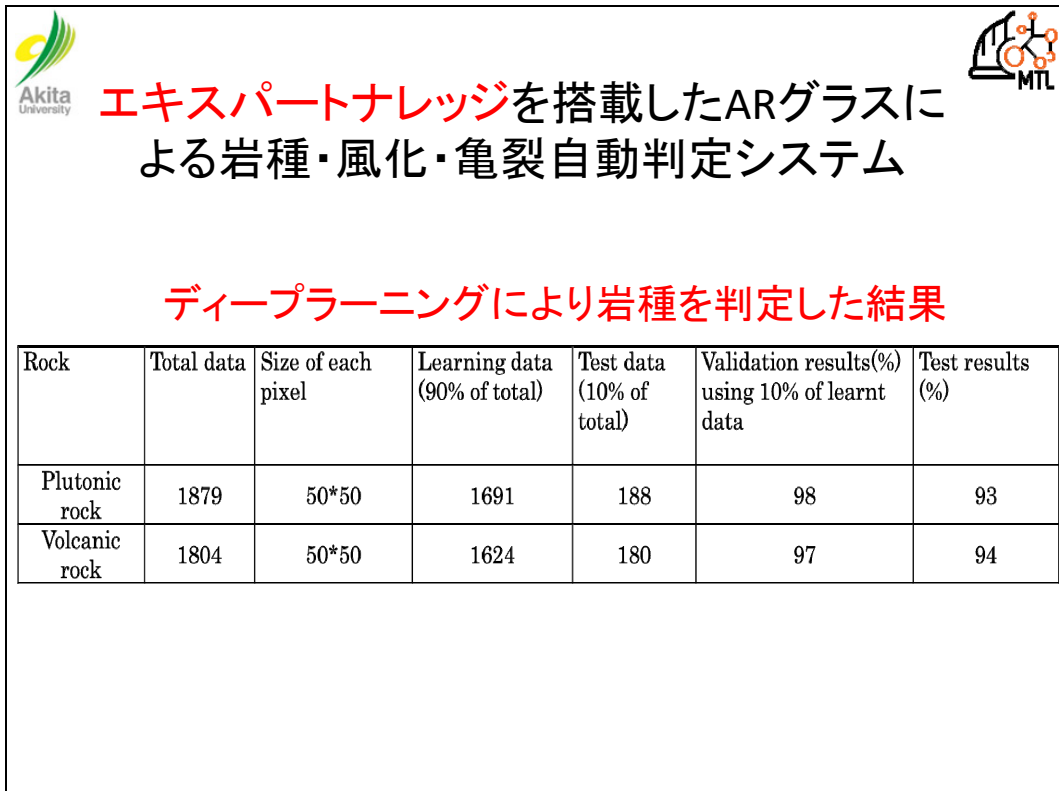


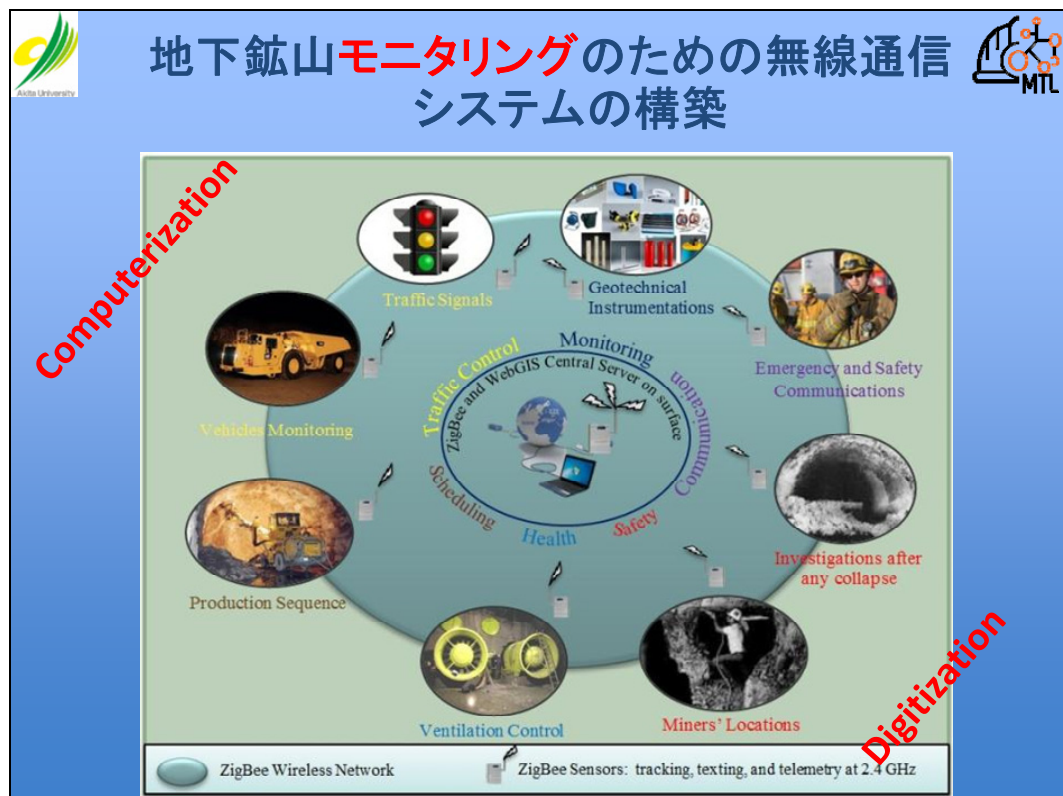
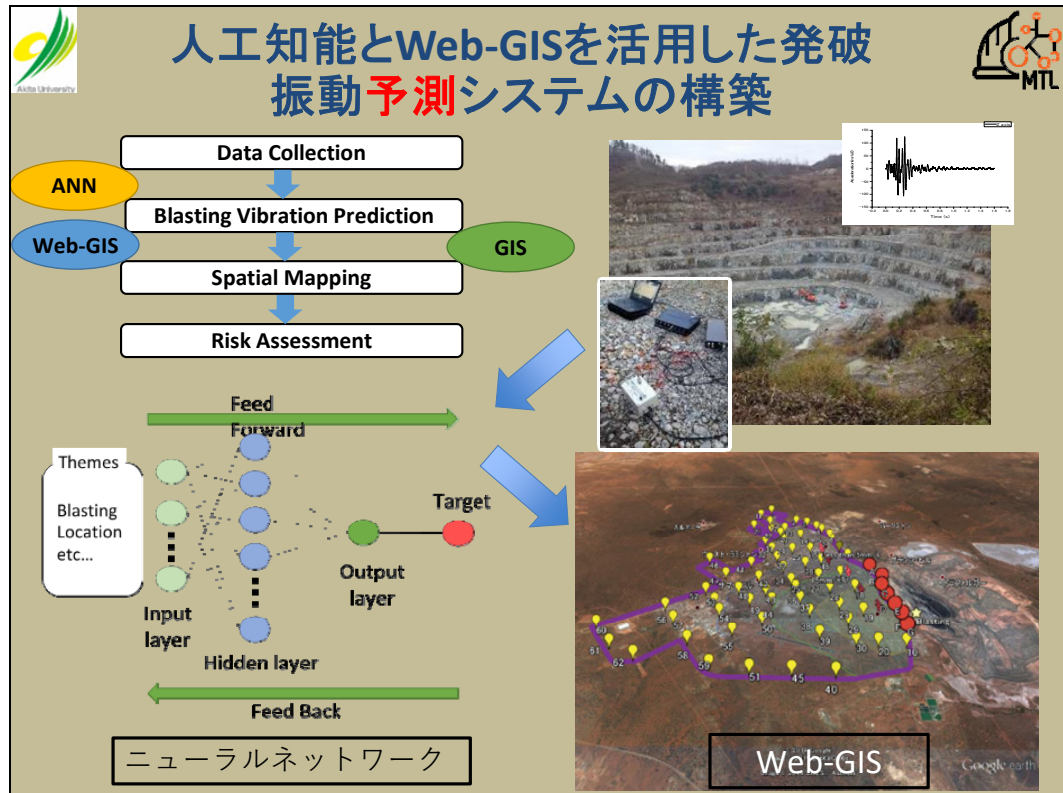






エキスパートナレッジを搭載したARグラスによる岩種・風化・亀裂自動判定システム

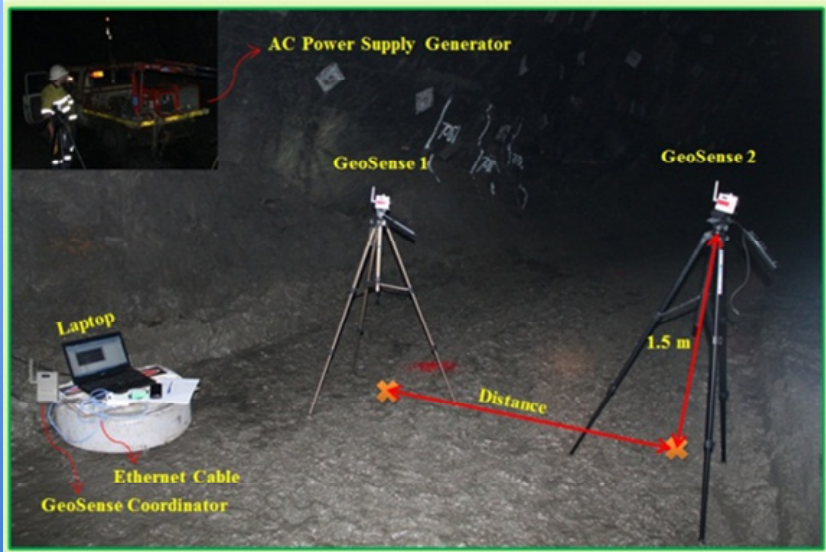






地下鉱山モニタリングのための無線通信 システムの構築 (実験風景)





Experiment in Angas Zinc Mine (SA)



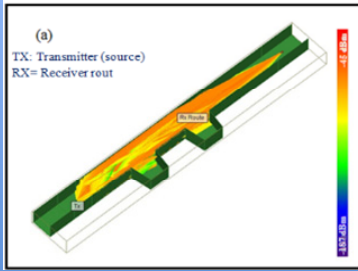
地下鉱山モニタリングのための無線通信 システムの構築 (実験結果)

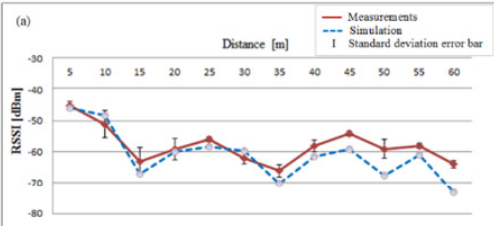


Measurements and Simulations

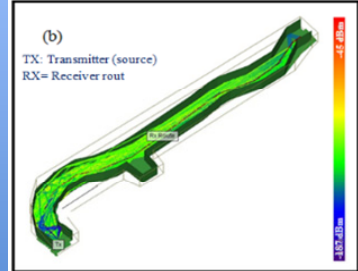
The received signal powers (RSSI) were simulated based on Maxwell's equations and eigenfunctions.

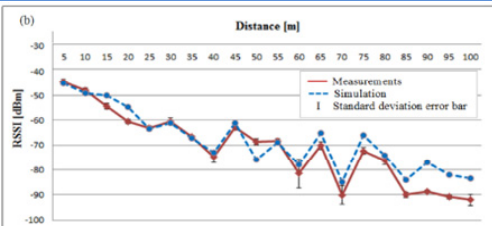
Straight tunnel

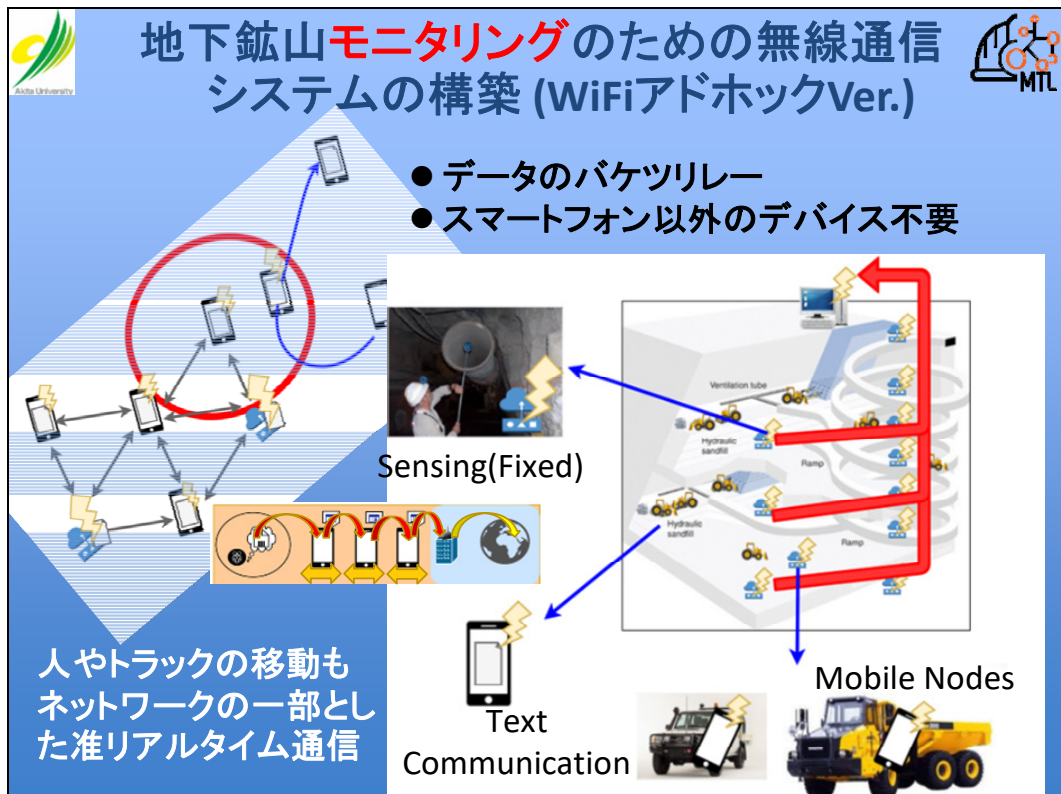


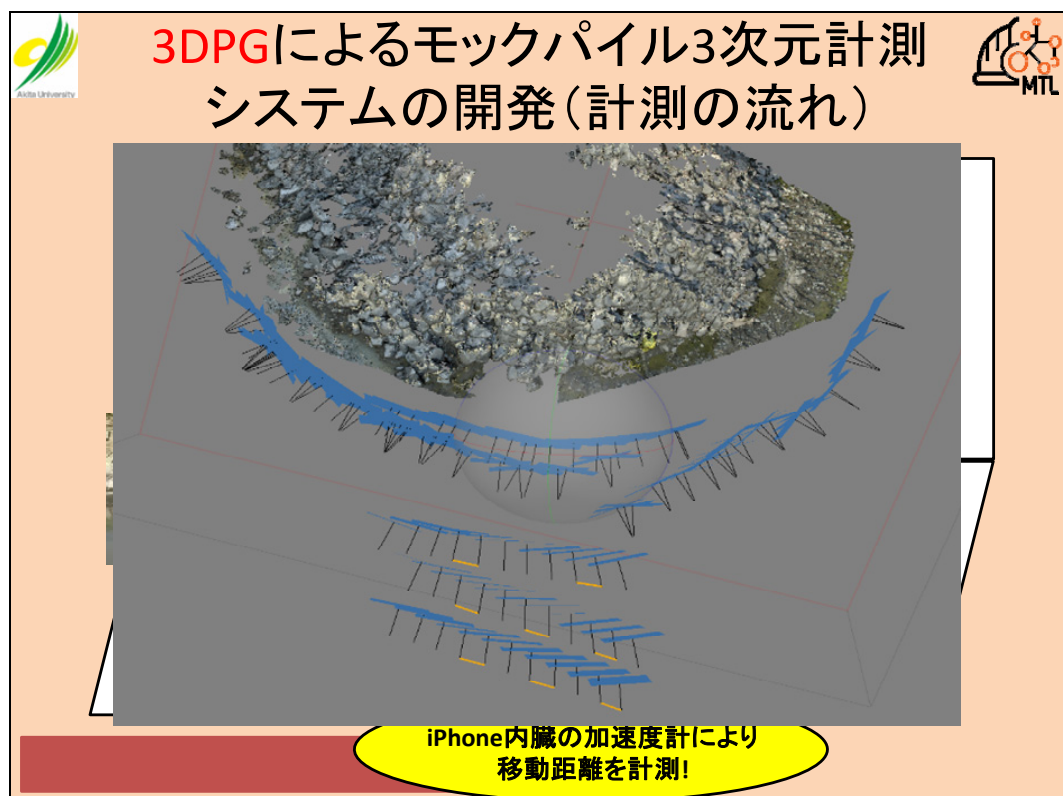
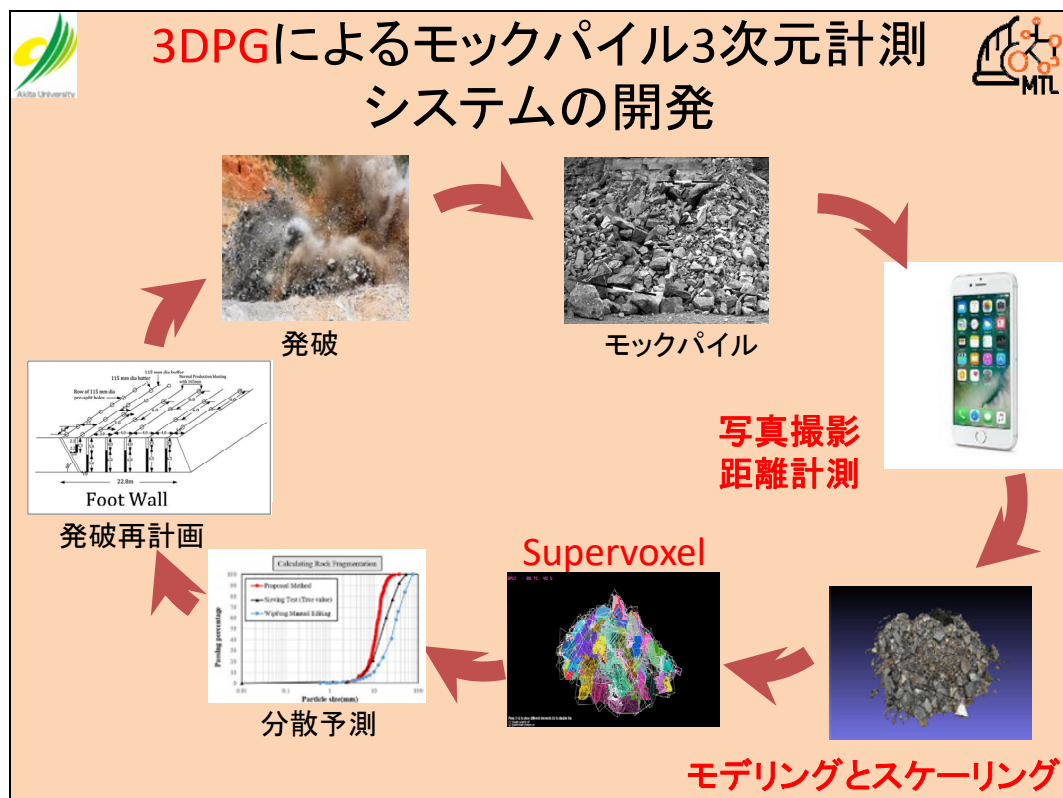


Curved tunnel







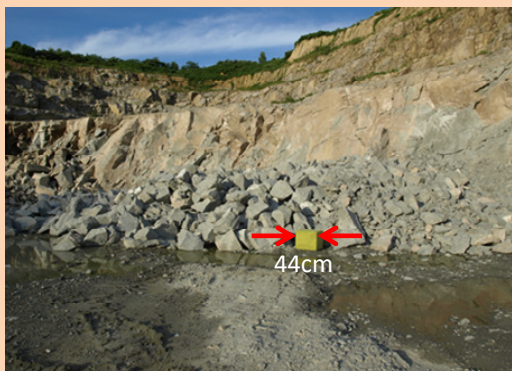




3DPGによるモックパイル3次元計測 システムの開発(現場実験)



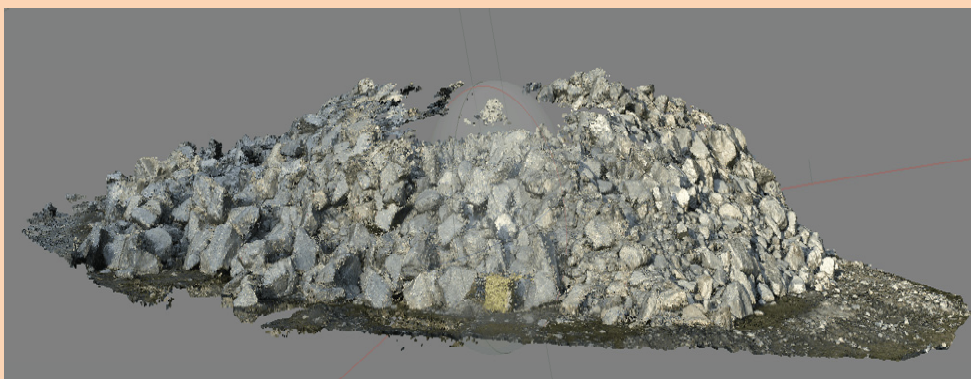
サイト：トーセキマテリアル、秋田
参照ボックスのサイズ：44cm



3DPGによるモックパイル3次元計測 システムの開発(実験結果)



iPhoneにより撮影された写真をもとにした3次元モデル



モデルからの計測結果：41.7 cm
エラー：5.2%



鉱山VRの歴史（CyberMine）



トラックおよびジャンボのシミュレータ

鉱山VRの歴史（UNSW）



出典：UNSW

鉱山VRの歴史（UNSW）



鉱山救護訓練センターiCinemaによる救護訓練

出典：UNSW

鉱山VRの歴史（秋田大学）2014年

国内初、秋田大学と凸版印刷が「バーチャル
鉱山実習システム」を開発

最先端のバーチャルリアリティ技術で、鉱山開
発の現場を作業員視点で疑似体験が可能に



鉱山VR活用法

トレーニング
技術伝承
直感的理解
保安教育
リモートオペレーション



作業効率向上 安全性向上





平成29年度 鉱業博物館特別展

鉱山 バーチャルリアリティ

～仮想空間で鉱山を知る・体験する～

平成29年 平成30年
12月6日(水) ▶ 2月3日(土)

会場：鉱業博物館 特別展示室

主 催：秋田大学国際資源学研究所センター／秋田大学大学院国際資源学専攻附属施設管理課

特別講演会

石炭でも見逃さないVRです。
入場：無料
無料／参加費500円

講師：[QRコード]
-00000000-
講 師 川村 淳平 氏
〔秋田大学国際資源学研究所センター長〕
日時：平成29年12月6日(水) 13:30～15:00
場 所：鉱業博物館 講堂

プロフィール

1973年生まれ。秋田大学、東北大学、Curtin大学
（オーストラリア）を経て2016年から秋田大学
大学院国際資源学専攻附属施設管理課。2017年から
は国際資源学専攻附属施設管理センター（ICRE-ME）
所長として、国際資源学専攻附属施設（サードマイン
ニング）施設に関する研究に専事。

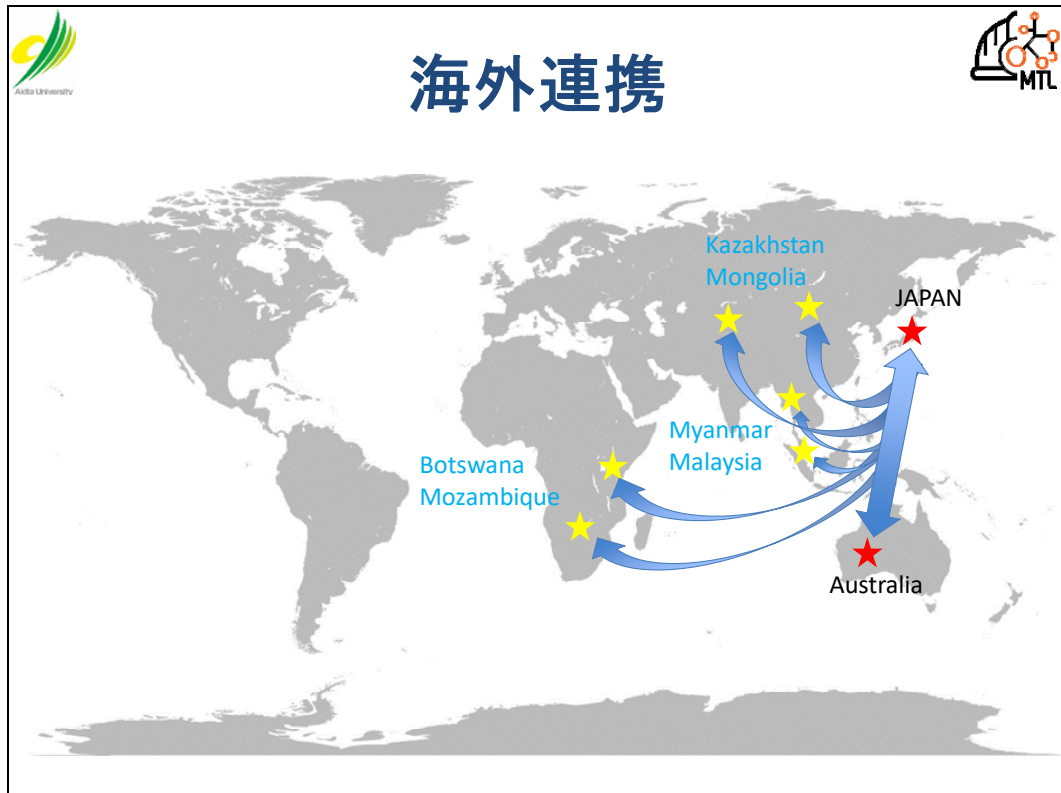


秋田大学大学院 鉱業博物館
国際資源学研究所附属

〒010-8502 秋田県秋田市手形字大沢28-2 TEL 018-889-2461 FAX 018-889-2465
URL: <http://www.museum.aist.ac.jp/>

●開館時間：午前9:00～午後4:00 ●入館料：大人100円 高校生以下無料
●休 館 日：日曜・祝日および年末年始（12月31日～1月5日）





ご清聴ありがとうございました



秋田大学大学院 国際資源学研究科
教授 川村洋平

Tel: 018-889-3276

Email: y.kawamura@gipc.akita-u.ac.jp

地球科学におけるデータ駆動型解析

桑谷 立*,**

Data-driven Analysis in Earth Science

Tatsu Kuwatani *

*海洋研究開発機構地球内部物質循環研究分野 Department of Solid Earth Geochemistry, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka 237-0061, Japan. E-mail: kuwatani@jamstec.go.jp

**科学技術振興機構さきがけ PRESTO, Japan Science and Technology Agency (JST), 4-1-8 Honcho, Kawaguchi 332-0012, Japan.

キーワード : データ駆動科学, 逆問題, 機械学習, ベイズ推論, スパースモデリング

Key words : Data-driven science, Inverse problem, Machine learning, Bayesian estimation, Sparse modeling

(要旨) 地球科学では, 様々な観測・計測データをもとに地球の過去および現在の物理・化学的過程を明らかにすることが根本的命題とされる. 近年の観測・計測技術の発展は, これまでは得られなかったような大量もしくは新たな種類のデータ取得を可能にし, 地球システム・現象の理解に著しく貢献している. しかし, 精度・解像度・計測範囲などの限界の存在や, 得られるデータの種類に関する制限により, 我々が本当に知りたい物理量やプロセスを直接的に抽出することは未だに困難である. 一方, 近年の計算機技術の発達と数理・情報科学の進展は, 取得データから最大限に情報を抽出するための強力なデータ科学手法群を生み出し続けており, 機械学習や人工知能は産業界や実社会などで既に広く活用されている. これらはデータ駆動型解析として, 自然科学や工学分野においても応用が進んでおり, それぞれの分野に関する課題解決に貢献しつつある.

このような状況を背景に生まれた学問分野がデータ駆動科学である. データ駆動科学は, データの背後に潜む構造やプロセスの抽出に関して, 特定の対象や分野に依存しない普遍的な数理・情報科学的方法論の構築を目指している(Igarashi et al 2016). 2013 年度から, 文科省科研費補助金新学術領域研究「スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成」

(略称: 疎性モデリング, 領域代表者: 岡田真人, <http://sparse-modeling.jp/>) と題した研究プロジェクトが開始し, 地球・惑星科学を含む生命科学・地学を中心とする幅広い自然科学分野において, 最先端のデータ解析手法を応用する研究が活発に行われている. 異なる分野が多数協働することで, ある分野で用いられている数理科学的手法が, 別分野にスムーズに伝搬され, 従来, 数理科学的な解決が困難だった問題に対しても, 新たな解決方法が見つかるようなケースも多数生まれてきている. 2016 年度からは, 科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業 CREST/さきがけ複合領域「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」(略称: 情報計測, 研究総括: 雨宮慶幸/北川源二郎, <https://www.jst.go.jp/kisoken/>) が発足し, 情報科学・データ解析手法により, 物理的・機械的な性能が規定する計測の限界突破を目的にした情報と計測の融合研究が進展しつつある.

冒頭にも述べたように, 地球科学分野では複雑なシステムに関する挙動と構造を常に不十分な観測・計測データから解明するという難解な逆問題に取り組まなければならない. そのため, 地球科学はデータを最大限に活用して情報抽出を行うデータ駆動型解析の恰好の適用対象といえよう. 我々の研究グループでは新学術領域「疎性モデリング」の発足に際して, 下記の参考文献に示した通り, 地球物理学・地球化学・地質学を含む幅広いアプローチの様々な対象に対して, データ駆動型解析を適用してきた. 例えば, 地球物理学においては, ベイズ推論の画像解析手法であるマルコフ確率場モデル(Ohno et al. 2012; 桑谷ほか 2014a)を地震波トモグラフィや地球内部の媒質評価に用いた研究(Kuwatani et al. 2014a,b)や, スパースモデリングの一種であるL1正則化法をGPS観測データからプレート境界のゆっくり滑りの空間分布を推定する問題に適用している(Nakata et al. 2016, 2017; 桑谷ほか 2016). 地球化学分野においては, 機械学習の代表的手法であるサポートベクトルマシン(SVM)をスパースモデリングの一種である全探索法と組み合わせて, 2011 年東北沖津波堆積物の地球化学的判別に適用した研究(Kuwatani et al. 2014c; 駒井ほか 2016)や, 主成分分析・因子分析・スパース重回帰分析などを津波堆積物や表層土壌堆積物の地球化学特性の評価に適用した研究などがある(桑谷ほか 2014b; 中村ほか 2016; Nakamura et al. 2016, 2017). また, 固体地球に関する地球化学分野においても, 独立成分分析・クラスタ分析などを火成岩の全岩化学組成や温泉水溶液組成に適用するなど多方面から研究を進めつつある(Iwamori et al 2017, 桑谷&岩森 印刷中).

地質学分野におけるデータ駆動型解析の先駆的な例としては, 変成岩中の鉱物組成累帯構造を用いた温度圧力(P - T)履歴推定に対してマルコフ確率場モデルを適用した研究がある(Kuwatani et al 2012). 最近では, 同様の問題に対して, 鉱物粒子の成長則を導入することで, データ同化の枠組みにより温度圧力時間(P - T - t)履歴の推定を可能にしている. また, 岩石形

成のダイナミクスを逆問題として抽出する研究例としては、岩石-水相互作用に関する室内実験系の時系列化学分析データから反応係数などを推定するデータ同化手法を開発した(Omori et al 2016). 今後は、より複雑で多様な岩石組織を対象にした岩石形成ダイナミクスの抽出法の開発を進めていく(Okamoto et al 2015; 岡本&桑谷 2017). 上記のほかにも、構造地質学の問題に情報量基準によるモデル選択法を適用した研究(Matsumura et al 2017)や、変成作用中の物質移動量の推定に非負値行列分解を適用した研究(Yoshida et al 2017)など、多数のデータ駆動型解析を活用した研究を進行中である。

本講演では、はじめに、データ駆動型解析のキーテクノロジーであるスパースモデリング（高次元データから少数の本質的な説明変数を自動抽出する数理的方法論）とベイズ推論（逆解析に順モデルと先験的知識を有効に導入する確率論的アプローチ）について地球科学分野以外の適用例も挙げながら解説する。その後、実際にデータ駆動型解析を地球科学分野に応用した例について、現在進行中の研究も含めて幾つか紹介する。最後に、情報地質学の発展にデータ駆動科学が果たすべき役割とともに、今後の展望について議論する。

参考文献

- Igarashi, Y, Nagata, K, Kuwatani, T, Omori, T, Nakanishi-Ohno, Y, Okada, M (2016) Three levels of data-driven science. *Journal of Physics: Conference Series*, 699, 012001:1-012001:13. doi:10.1088/1742-6596/699/1/012001
- Iwamori, H, Yoshida, K, Nakamura, H, Kuwatani, T, Hamada, M, Haraguchi, S, Ueki, K (2017) Classification of geochemical data based on multivariate statistical analyses: Complementary roles of cluster, principal component, and independent component analyses. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18(3), 994-1012
- 駒井武, 桑谷立, 中村謙吾, 土屋範芳 (2016) スパースモデリングによる津波堆積物の判別-津波到達推定への応用-. *電子情報通信学会会誌*, 99(5), 418-423
- 桑谷立, 岩森光 (印刷中) ビッグデータ解析, 「図説 固体地球の事典」朝倉書店.
- Kuwatani, T, Nagata, K, Okada, M, Toriumi, M (2012) Precise estimation of Pressure - Temperature paths from zoned minerals using Markov random field modeling: theory and synthetic inversion. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163(3), 547-562. doi.org/10.1007/s00410-011-0687-3
- Kuwatani, T, Nagata, K, Okada, M, Toriumi, M (2014a) Markov-random-field modeling for linear seismic tomography. *Physical Review E*, 90, 042137:1-042137:7. doi:10.1103/PhysRevE.90.042137
- Kuwatani, T, Nagata, K, Okada, M, Toriumi, M (2014b) Markov random field modeling for mapping geofluid distributions from seismic velocity structures. *Earth, Planets and Space*, 66, 5:1-5:9. doi.org/10.1186/1880-5981-66-5
- Kuwatani, T, Nagata, K, Okada, M, Watanabe, T, Ogawa, Y, Komai, T, Tsuchiya, N (2014c) Machine-learning techniques for geochemical discrimination of 2011 Tohoku tsunami deposits. *Scientific Reports*, 4, 7077:1-7077:6. doi:10.1038/srep07077
- 桑谷立, 永田賢二, 岡田真人(2014a) マルコフランダムフィールドモデルによる計測画像データからの潜在構造抽出. *映像情報メディア学会誌*, 68(12), 892-896
- 桑谷立, 中村謙吾, 渡邊隆弘, 小川泰正, 駒井武 (2014b) 主成分分析を用いた次元圧縮に基づく東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の地球化学的特性評価. *地学雑誌*, 123(6), 923-935. doi.org/10.5026/jgeography.123.923
- 桑谷立, 中田令子, 岡田真人, 堀高峰(2016) スパースモデリングの地球物理学への応用. *電子情報通信学会会誌*, 99(5), 406-410
- Matsumura, T, Kuwatani, T, Masuda, T (2017) Statistical model selection between elastic and Newtonian viscous matrix models for the microboudin palaeopiezometer. *Earth, Planets and Space*, 69, 83:1-83:12. doi:10.1186/s40623-017-0669-4
- Nakamura, K, Kuwatani, T, Kawabe, Y, Komai, T (2016) Extraction of heavy metals characteristics of the 2011 Tohoku tsunami deposits using multiple classification analysis. *Chemosphere*, 144, 1241-1248. doi:10.1016/j.chemosphere.2015.09.078
- 中村謙吾, 佐藤海里, 川辺能成, 桑谷立, 駒井武(2016) 名取川水系の重金属類の環境評価に関する調査及び数理統計解析. *Journal of MMIJ*, 132(1), 22-30. doi:10.2473/journalofmmij.132.22
- Nakamura, K, Yasutaka, T, Kuwatani, T, Komai, T (2017) Development of a predictive model for lead, cadmium and fluorine soil/water partition coefficients using sparse multiple linear regression analysis. *Chemosphere*, 186, 501-509. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.07.131
- Nakata, R, Kuwatani, T, Okada, M, Hori, T (2016) Geodetic inversion for spatial distribution of slip under smoothness, discontinuity, and sparsity constraints. *Earth, Planets and Space*, 68, 20:1-20:10
- Nakata, R, Hino, H, Kuwatani, T, Yoshioka, S, Okada, M, Hori, T (2017) Discontinuous boundaries of slow slip events beneath the Bungo Channel, southwest Japan. *Scientific Reports*, 7, 6129:1-6129:7. doi:10.1038/s41598-017-06185-0
- Ohno, Y, Nagata, K, Kuwatani, T, Shouno, H, Okada, M (2012) Deterministic algorithm for nonlinear Markov random field model. *Journal of Physical Society of Japan*, 81, 064006:1-064006:6. doi.org/10.1143/JPSJ.81.064006
- Okamoto, A, Kuwatani, T, Omori, T, Hukushima, K (2015) Free-energy landscape and nucleation pathway of polymorphic minerals from solution in a Potts lattice-gas model. *Physical Review E*, 92, 042130:1-042130:9. doi.org/10.1103/PhysRevE.92.042130
- 岡本敦, 桑谷立, (2017) 変成岩組織と鉱物組成累帯構造からの情報抽出：フォーワードモデルと逆解析. *地質学雑誌*, doi:10.5575/geosoc.2017.0034
- Omori, T, Kuwatani, T, Okamoto, A, Hukushima, K (2016) Bayesian inversion analysis of nonlinear dynamics in heterogeneous reactions. *Physical Review E*, 94, 033305:1-033305:11. doi:10.1103/PhysRevE.94.033305
- Wakasugi, K, Kuwatani, T, Nagata, K, Asoh, H, Okada, M (2014) Verification of effectiveness of a probabilistic algorithm for latent structure extraction using an associative memory model. *Journal of Physical Society of Japan*, 83, 104801:1-104801:8. doi.org/10.7566/JPSJ.83.104801
- Yoshida, K, Kuwatani, T, Hirajima, T, Iwamori, H, Akaho, S (2017) Progressive evolution of whole-rock composition during metamorphism revealed by multivariate statistical analyses. *Journal of Metamorphic Geology*, in press. doi:10.1111/jmg.12282

日本情報地質学会・地質情報整備活用機構 共催シンポジウム 2017

地質調査と資源開発のためのICT/IoT/AI技術に向けて

講演論文集

2017年11月21日 発行

発行 日本情報地質学会
〒101-0047 東京都千代田区内神田1-5-13
内神田TKビル3階
特定非営利活動法人 地質情報整備活用機構内
Tel. 03-6689-5353
