

気仙沼地域における地質図情報の教育活用

*川村 寿郎・**小山 陽大・***三浦 美咲

Educational utilization of the geological map information in the Kesen-numa district

KAWAMURA Toshio, OYAMA Yota and MIURA Misaki

Abstract

The geological maps attached aerial and panoramic view, which information is available at the website of Geological Survey of Japan, AIST, are useful tool to learn geological matter in the junior-high and high school science classes. We investigated the maps and recognized adequate study objects including stratification, sedimentation, fault, folding, and intrusion in Paleozoic to Mesozoic rocks of the Kesen-numa district. Also examined were study methods to understand the general characteristics of local geology, relationship between topography and geology, formational order of the rocks and structures related to the history of geologic development in the district. Such panoramic view as Google Street View[®] is an effective tool not only to check the in-situ geologic matter but to substitute for the field observation as the virtual reality in the school science classes.

Key words : study of geology (地学学習)
geological map information (地質図情報)
formation of ground (大地の成り立ち)
geology-teaching materials (地学教材)
Kesen-numa district (気仙沼地域)

1. はじめに

近年 GIS (地図情報システム) を使った多くの地図情報は、提供機関において急速に整備され、インターネットを通じてどこでも容易に入手できるようになった。地質を主題とする地図情報 (以下、地質図情報) については、特に国土を網羅する情報が産業技術総合研究所地質調査総合センターからインターネットで公開されている。そのうち「20万分の1日本シームレス地質図[®]」 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/>、以下、

「シームレス地質図」) は、平易な解説や表示機能もあり、中学校理科や高等学校地学の学習内容にも即して、生徒自ら利用することが十分可能である。地学分野の学習でも、一般的な学習事項について、日本周辺の広域から学区の局所地域の地質内容に基づいてそれらを確認する方法として導入できる。

中学校理科の地学分野の学習において、「シームレス地質図」を導入する事例は、すでに川村・高橋 (2016) で報告した。そこでは、「シームレス地質図」を使い、生徒が調べ学習と遠隔地交流授業を通じて、他地域と

* 理科教育講座
** 気仙沼市立新城小学校
*** 初等教育教員養成課程理科コース

の比較による仙台地域の地質特性の把握、仙台地域の地質の成り立ちとその歴史の理解などをねらいとし実践した。その後「シームレス地質図」は改良され、別に「地質図 Navi[®]」(<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>)によってより詳細な地質図情報が公開されている。

本研究では、仙台地域とは地質や地形が異なる気仙沼地域において、最近の地質図情報を活用した学習のねらいや展開方法について検討した結果を報告する。

2. 地質図情報で認識できる地質事象

地域の地形や地勢を確認するために地形図や衛星画像が一般に用いられるのと同様に、地域の地質を確認するためには地質図が用いられる。現在、地形図や地質図のほとんどは、インターネットで情報公開されており、それを閲覧し利用できる。国土の地質図情報は、おもに産業技術総合研究所地質調査総合センターの「シームレス地質図」と「地質図 Navi」、および国土地理院の「地理院地図[®]」(<https://maps.gsi.go.jp/>)によって閲覧できる。これらはいずれも、地質図と各種地形図とがレイヤーとしてセットされて重ね合わせ表示が可能である。「地質図 Navi」ではさらに、Google ストリートビュー（以下、ストリートビュー）の表示が可能となっている。

地質図情報のうち、「シームレス地質図」では、日本列島周辺の海溝やトラフ、島弧、背弧海盆などの大地形から、ズーム機能で、地質の広域分布、火山配列、大断層などが陸上の地質図として表れる。さらに縮尺を大きくすると、地域によっては、地層群の分布、断層、褶曲なども認められる。地質図に表示される各地質単元の情報として、地質時代、岩相、堆積環境なども表示できる。

地質事象の中で、野外で確認されるものの多くは数 cm から数百 m の中視的スケールの肉眼観察であり、数 cm 以下の微視的スケールでは拡大鏡や顕微鏡などを用いる一方、数百 m ～数 km 以上では航空写真、地質図、地形図などで確認することになる。中学校理科や高等学校地学の学習事項として取り上げられる地質事象には、中視的から一部巨視的なものが多く、教科書ではそれを示す露頭の写真画がよく掲載されている。例えば、地層の累重、褶曲、断層などは、写真画の幅が数十～数百 m のものが多く見受けられる。

地域の中視的～巨視的な地質事象を確認する場合、「地質図 Navi」は、「シームレス地質図」に加えて、これまでに刊行されたより大縮尺の地質図幅や、種々の主題地質図に航空写真や種々の地形図を重ね合わせる事が可能なため、きわめて有用性が高い。これによって数十 m ～数 km のスケールの火山岩体、付加体の異地性岩体、断層、褶曲などが確認される。さらに詳しい数 m ～数百 m の事象は、「地質図 Navi」に機能として付帯しているストリートビューを用いて、現地の適切な露頭をさがして確認する。場合によっては、同じ地質事象を Google マップ (<https://www.google.com/maps/>) のストリートビューを使って、ルートと撮影方向を見ながら確認することになる。実際に国内では、特に海岸部で、地層の累重、層理、節理、断層、褶曲などの事象が確認できるほか(図1)、国外では山岳部や海岸部で、さまざまなスケールの地層の重なりや地質構造ばかりでなく、岩相や堆積相なども如実にわかる所も多い。

3. 気仙沼地域の地質の概要

地質構成

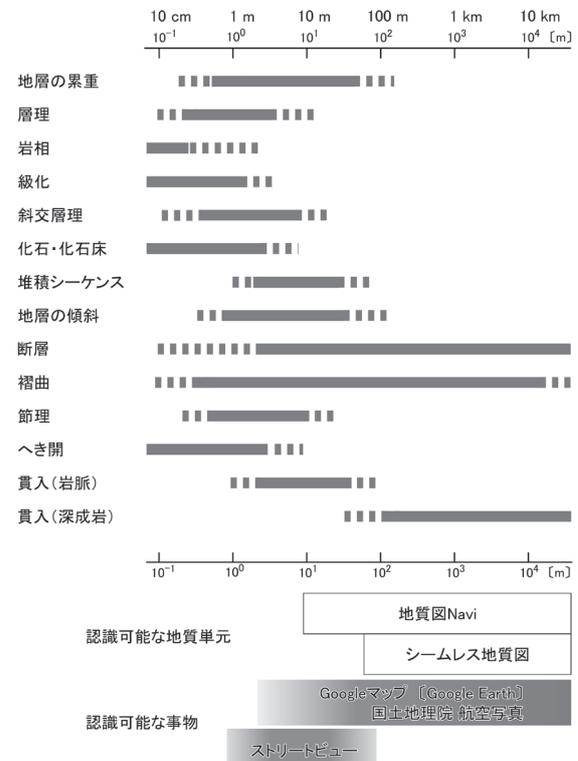


図1 気仙沼地域にみられる主な地質事象のスケール

気仙沼地域には、古生代ペルム紀から中生代白亜紀にわたる地層が広く分布し、西部の山稜には中生代白亜紀前期の花崗岩類、平野部には新生代鮮新世や第四紀の地層が見られる(図2)。特にペルム紀中期から白亜紀最前期の地層は、地質区区分上、南部北上帯に属するもので、地質層序が年代的によく連続しており、日本の代表的な層序学、古生物学、堆積学の対象として古くより研究が行われている。地層のほかにも、地域内には、地形景観、化石、地質構造、鉱石など多くの地質の見学適地がある。そのため、海岸部は三陸復興国立公園に指定され、さらに、北隣の岩手県大船渡・陸前高田地域とともに三陸ジオパーク南部エリアとなっている。気仙沼市内には、現在、地質・地形・文化財の見どころとして約10カ所のジオサイトが設けられている。

地質層序

古生代～中生代の地層は、下位より、ペルム系、三畳系、ジュラ系(一部最下部白亜系)に層序区分される。ペルム系は、おもに外浜(一部前浜)～外側陸棚(一部陸棚斜面)で堆積した砂岩、泥岩、石灰岩、礫岩からなり、下部、中部、上部に区分されている。三畳系は、ペルム系に不整合で重なり、おもに前浜(一部陸成)～外浜～外側陸棚で堆積した砂岩、泥岩、礫岩からなる下部～中部と、汽水域を含む前浜～内側陸棚で堆積した砂岩、泥岩からなる上部に区分される。ジュラ系～最下部白亜系は、おもに前浜～内側陸棚で堆積した海成層であり、中に河川性の陸成層を含む(後述)。これらの地層は、白亜紀前期の火山岩や砂岩に不整合で覆われ、かつ一部は火山岩の岩脈や白亜紀前期の花崗岩類によって貫入される。

地質構造

古生代～中生代の地層は、傾斜しかつ大小の断層で切られていることが多く、さらに泥岩や細粒砂岩には北西-南東ないし北北西-南南東方向の劈開が発達する(図2、図3)。気仙沼湾から鹿折地区を通り北北西方向に直線的に伸びる断層は、気仙沼地域の古生界および中生界の分布を大きく規制している。この断層は「日詰-気仙沼断層」と呼ばれ、岩手県矢巾付近まで延長する主要な断層であり(広川・吉田, 1954)、左横ずれで約35kmの水平変位量をもつとされる(永広, 1977)。日詰-気仙沼断層の東側では、ペルム系から下部白亜系までの地層が大きな向斜構造をなして

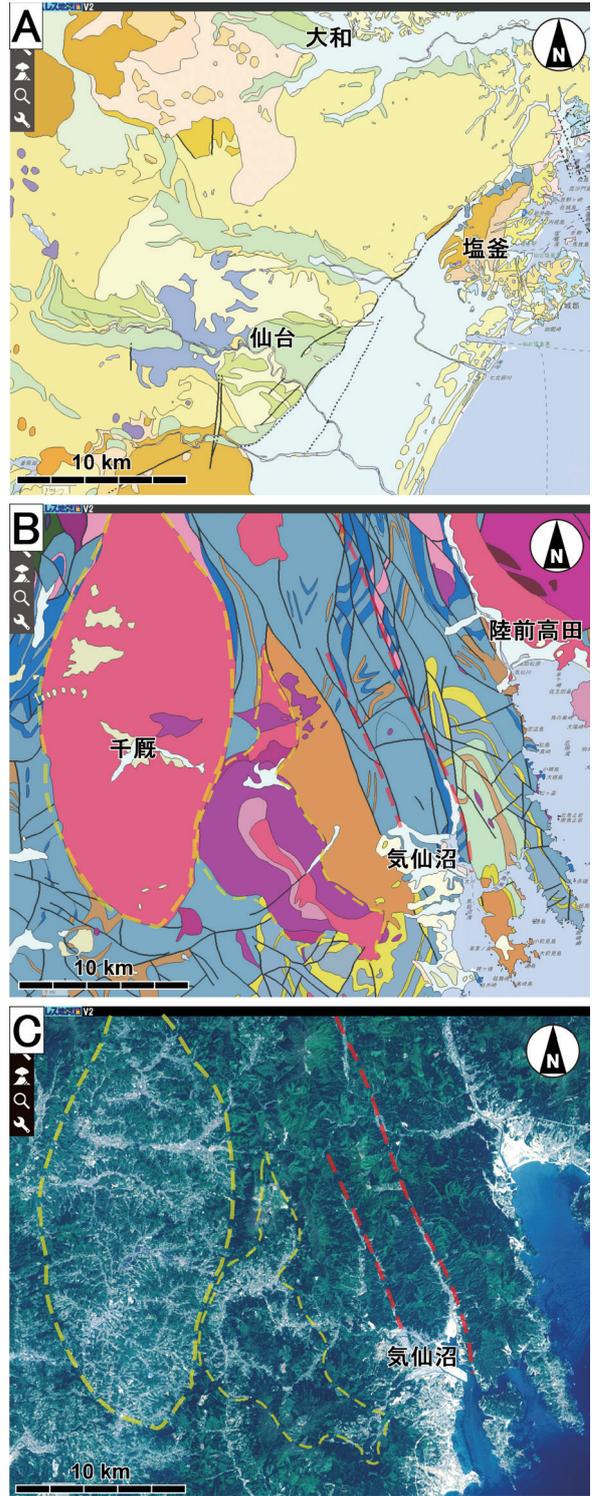


図2 気仙沼地域周辺の地質と大地形

A: 仙台周辺の地質図。B: 気仙沼周辺の地質図。C: 気仙沼周辺の航空写真。いずれも産業技術総合研究所地質調査総合センター「20万分の1日本シームレス地質図V2」(<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/viewer/>)を同一縮尺で使用。航空写真は国土地理院写真を使用。BとCでは前期白亜紀花崗岩類の千厩岩体と室根岩体の輪郭を黄色破線で、日詰-気仙沼断層と下八瀬断層を赤色破線でそれぞれ示す。

分布する(図3)。この向斜は「綱木坂向斜」と呼ばれ、翼間が約5 km以上に達し、向斜軸が南に傾いた形を示す。さらに、ペルム系から下部白亜系までの地層は、前期白亜紀前期の花崗岩類の貫入によって、接触変成作用を受けている。以上のような断層、褶曲、劈開の生成、不整合、火山噴出をもたらした激しい地殻変動は、花崗岩類となったマグマの貫入と冷却の前に起こったと考えられ、そのほとんどが白亜紀前期オーセロビアン期～アプチアン期の140-120 Maの間に集中する。こうした白亜紀前期の一連の変動や火成活動については、古くから気仙沼大島に因んで「大島造山運動」と呼ばれている(Kobayashi, 1941)。白亜紀前期以降は、北上山地では大きな地殻変動の地層記録は少なくなるため、比較的安定した地塊に転じたとみなされている(例えば、小貫, 1969)。

4. 「日本シームレス地質図」の活用

地域地質の特性の把握

気仙沼地域の地質の特徴を把握するために、まず小縮尺で広域的な地質分布を示し、さらに他地域と比較してみる。「シームレス地質図」において、東北地方

全体あるいは宮城県内の地質を概観すると、他の地域では形成年代が主に新生代であるのに対して、気仙沼地域周辺は主に古生代や中生代であることがわかる。また、断層を表示させると、他地域に較べて、気仙沼地域では多くの断層が存在する。例として、仙台地域と同じ縮尺で比較した場合(図2)、気仙沼地域は古生代や中生代の地層が南北方向や北東-南西方向の断層で切られている。また、地域内の東側では地層が帯状に逆U字型に分布しており、大きな褶曲(綱木坂向斜)をなしていることがわかる。こうしたことから、気仙沼地域は他地域に較べると、より複雑な地質構造であることが把握できる。

地質と地形の関係の把握

「シームレス地質図」では、複数の地図が地質図の背景として表示できる。その中で、航空写真(国土地理院)を選択して、地質図の不透明度を変えると、地質と地形の関係がわかる。例として、背景の写真では気仙沼地域西側の岩手県千厩周辺や室根周辺に楕円型の輪郭が見えるが、これらは白亜紀花崗岩(千厩岩体・室根岩体)の地質であることがわかる(図2)。同じく写真では、気仙沼湾から北方で水系や集落の凹地が北北西方向に直線的に配列する所が見られるが、こ

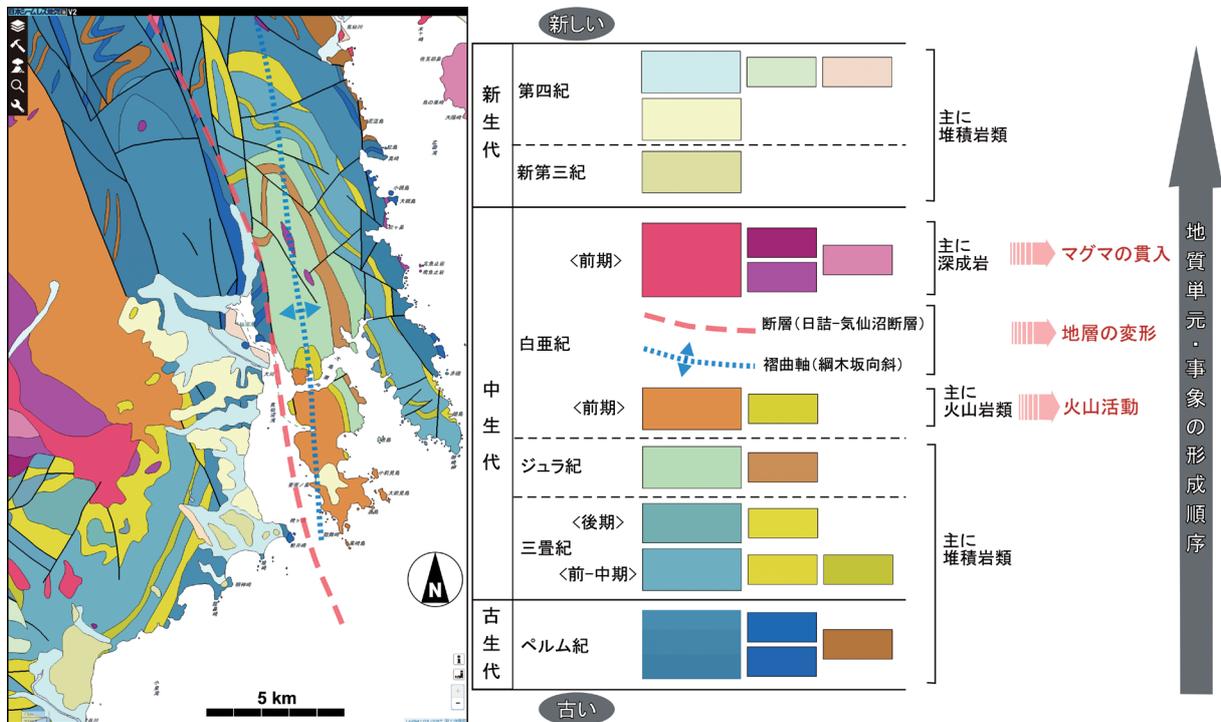


図3 気仙沼地域の地質と地質単元の成り立ち順序
左の地質図は「20万分の1日本シームレス地質図V2」の海域を白色にして使用。

れは断層(日詰-気仙沼断層とその西側の下八瀬断層)であることがわかる(図2)。後述する「地質図 Navi」や「地理院地図」では、航空写真のほかに赤色立体地形図や地形陰影図も背景地図として重ね合わせ表示できるので、より地形と地質の関係が把握されやすい。

地質の成り立ちの理解

「シームレス地質図」に示される気仙沼地域の地質の成り立ちについて、その構成とでき方について理解する。川村・高橋(2016)では、地質図の塗色単位について時代の新しい順に上に並べることによって地層の大まかな重なりを把握した。同様の方法で、地質図に表示される凡例の配列も参考としながら、形成時代の年代順に上下に配列させる。気仙沼地域では、古生代ペルム紀シスウラリアン世(P1)から中生代前期白亜紀アプチアン期~アルビアン期の火成岩(K12_v:安山岩など)の上に、中生代前期白亜紀アプチアン期~アルビアン期の火成岩(K12_p:花崗閃緑岩など)が置かれ、その上に新生代新第三紀~第四紀完新世(N3~H2)の堆積岩が置かれる。ここではさらに、綱木坂向斜と日詰-気仙沼断層の形成時期について加える。綱木坂向斜は、ペルム紀から前期白亜紀までの地層や火山岩がつくる褶曲であり、日詰-気仙沼断層でその構造は断たれている。日詰-気仙沼断層は、地域内では分からないが、広域的な研究により、その主たる活動時期は中生代前期白亜紀アプチアン期の花崗岩類の貫入前とされる(永広, 1977)。すべての地質単位、および綱木坂向斜と日詰-気仙沼断層について、時代順に並べると図3のようになり、これが地質の形成順序をあらわすことになる。さらに、地質の形成順序に基づき、気仙沼地域の地史が以下のように推定される。

- ①ペルム紀~前期白亜紀における海成層や陸成層の堆積による一連の地層の形成
- ②火山活動による噴出物の堆積と岩脈の形成
- ③広域的な圧縮による褶曲の形成(および劈開の生成)
- ④NNW方向の横ずれ断層の形成
- ⑤地下でのマグマの貫入と冷却による深成岩の形成
- ⑥陸域山塊の継続
- ⑦鮮新世~第四紀における谷底、河川、海岸での堆積

この中で特に②~⑤が、前期白亜紀に激しい地殻変動と火成活動(大島造山運動)がこの地域で一気におこったものと理解できる。

5. 「地質図 Navi」とストリートビューの活用

褶曲構造の確認

「地質図 Navi」では、「シームレス地質図」に加えて、これまでに刊行された地質図幅も閲覧できることから、より大きな縮尺で詳しい地質単元の分布と構造を認識できる。気仙沼地域では、すでに5万分の1地質図幅「気仙沼」(神戸・島津, 1961)、同「津谷」(鎌田, 1993)、および同「千厩」(竹内・御子柴, 2002)が公表されている。ここでは、前述した綱木坂向斜の地質構造の実態を知る方法として、5万分の1地質図幅「気仙沼」を表示し、さらに「地質図 Navi」で表示可能なストリートビューで現地の露頭の画像を見て確認する。気仙沼地域では、2020年現在、海上ルートから撮影された写真がストリートビューで公開されている。

向斜とは下に凹んだ褶曲であり、断面で見ると、向斜軸の両翼では、地層が軸側に向かって相異なる方向で傾斜する。綱木坂向斜の場合、向斜軸はほぼ南北方向であり、東翼では地層が西に傾斜する一方、西翼では地層が東に傾斜する構造をなす。「地質図 Navi」に表示される地質図幅を見ると、小々汐層の地層の走向と傾斜が示され、大まかな地層の構造がわかる(図4-C)。綱木坂向斜の軸付近では、上位の白亜系最下部の地層(磯草層)および前期白亜紀火山岩(鼎浦層)が分布する。

気仙沼湾東岸から大島瀬戸付近では、海岸に傾いた地層がよく見られ、ストリートビューでそれが確認される。付近の地層はジュラ系小々汐層であり、花崗岩を供給源とする白色のアルコース質砂岩を特徴とする。東翼の貝浜南方の海岸では、西側に傾いた白色砂岩層の重なりが見られる一方(図4-B)、西翼の小々汐南方の海岸道路沿いでは、同様の白色砂岩が東側に傾いている(図4-A)。これによって、気仙沼大島大橋付近をはさんで東西の地域の地層の傾斜方向が向き合うような向斜構造をなしていることがわかる。

地層の累重様式の確認

気仙沼地域の海岸部に見られる地層は、多くが20~30°以上の傾斜角度をなす。平面では走向方向に平行の層理が見られ、走向にほぼ直行する断面では傾斜した層理が見られる。地層の累重は、一般的には断面において、傾斜した方向への層の移り変わりとして

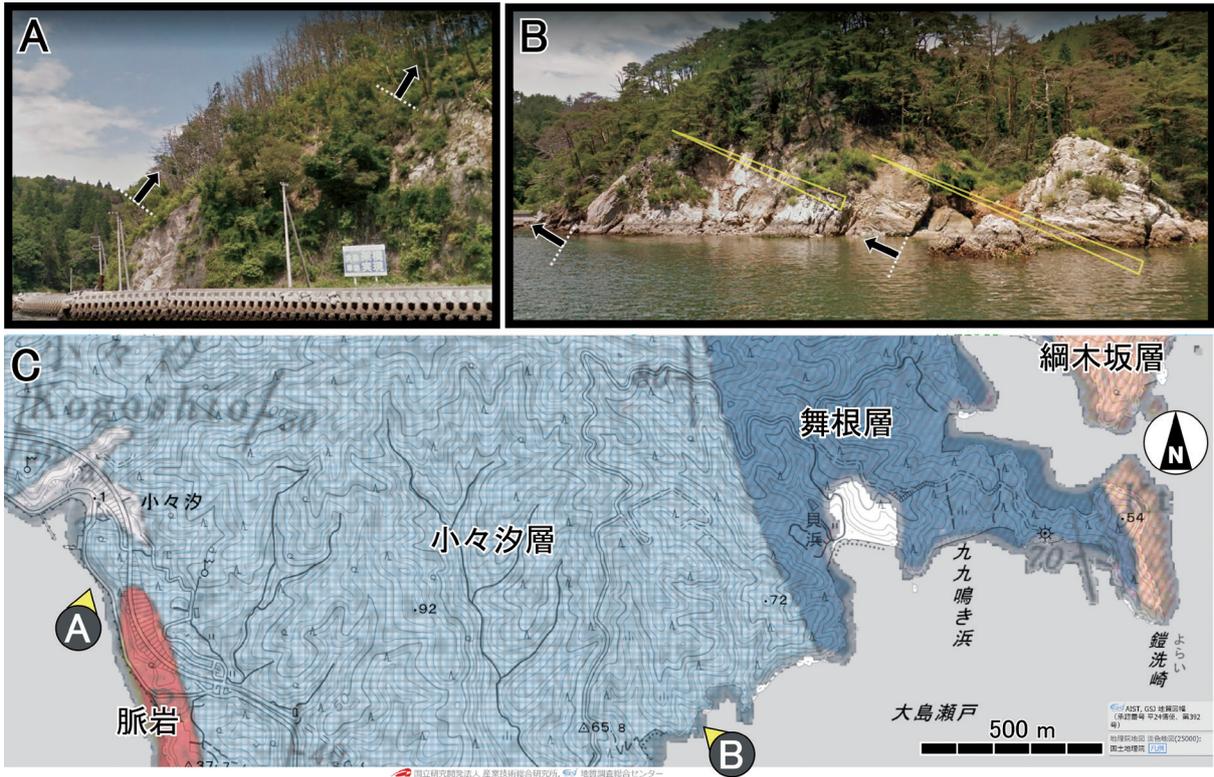


図4 ストリートビューによる地質構造の確認の事例

A：向斜構造の西翼側にあたるジュラ系小々汐層砂岩の露頭。地層が東に傾斜している。破線は地層の層理、矢印は地層の上位を示す（以下の図でも同様）。小々汐南方 (Google マップ: <https://www.google.com/maps/@38.8917635,141.5974105,2a,40.1y,11.11h,105.13t/>)。2014年7月撮影。B：向斜構造の東翼側にあたるジュラ系小々汐層の砂岩の露頭。地層が西に傾斜している。黄色△印は蛇行河川堆積の上方細粒化シーケンスを示す。大島瀬戸 (Google マップ: <https://www.google.com/maps/@38.8878183,141.6165979,2a,31.7y,313.63h,94.76t/>)。2014年7月撮影。C：地質図上のAとBの位置と方向。AとBの中間付近に綱木坂向斜の軸がある。地質図は「地質図Navi」で5万分の1地質図幅「気仙沼」を表示し、地理院地図淡色地図グレー(乗算・透過度70%)を背景地図に使用(以下の図でも同様)。

認識される。ここでは、「地質図Navi」で表示可能なストリートビューで露頭を確認するが、ルートと位置を直接知るためにはGoogleマップ上のストリートビューを用いる方がよい。

気仙沼地域の海岸部では、唐桑地区や大谷～津谷地区でペルム系や三畳系、大島地区でジュラ系の各地層の累重の様子がよく見られる。ストリートビューでは、南に面する大島瀬戸北岸や大島東岸でジュラ系小々汐層の周期的累重が確認できる(図4、図5)。小々汐層の下部と中部では、数mの厚さの斜交層理の発達した白色アルコース質砂岩の上位に、厚さ2～4mの灰色の細粒砂岩や黒灰色の炭質泥岩が重なるという累重がくり返すことが特徴である(図5-A、C)。これはTakizawa(1985)によって、上方細粒化シーケンスのくり返しとみなされ(図5-B)、陸上において移動する蛇行流路と周囲の氾濫原の堆積相と推定されている。すなわち、ジュラ紀後期の一時期には、大

陸地域において、花崗岩を後背地として蛇行河川が流れる平野部で地層が堆積したことを物語っている。小々汐層からは陸上植物化石も産出するので、今後恐竜化石も産出する可能性がある。

岩脈の確認

ストリートビューで確認される海岸部の露頭では、地層の層理や褶曲ばかりでなく、より小さい10m以下のスケールの地質事象として、礫岩や石灰岩などの特徴的な岩相、小規模な断層や褶曲、地層に貫入した岩脈なども確認できる。そうした事象は、教科書中の写真ばかりでなく地元でも見られることで、より親しんで理解されるだろう。気仙沼地域では、ペルム系～ジュラ系の地層に貫入する前期白亜紀の岩脈が多く点在し、特に海岸部でその様子がよくわかる。その一例として、唐桑地区御崎岬で見られる白亜紀安山岩岩脈を図6に示す。付近には三畳系大沢層の砂岩や泥岩の地層が、走向が北東-南西で西に50～70°傾斜してお

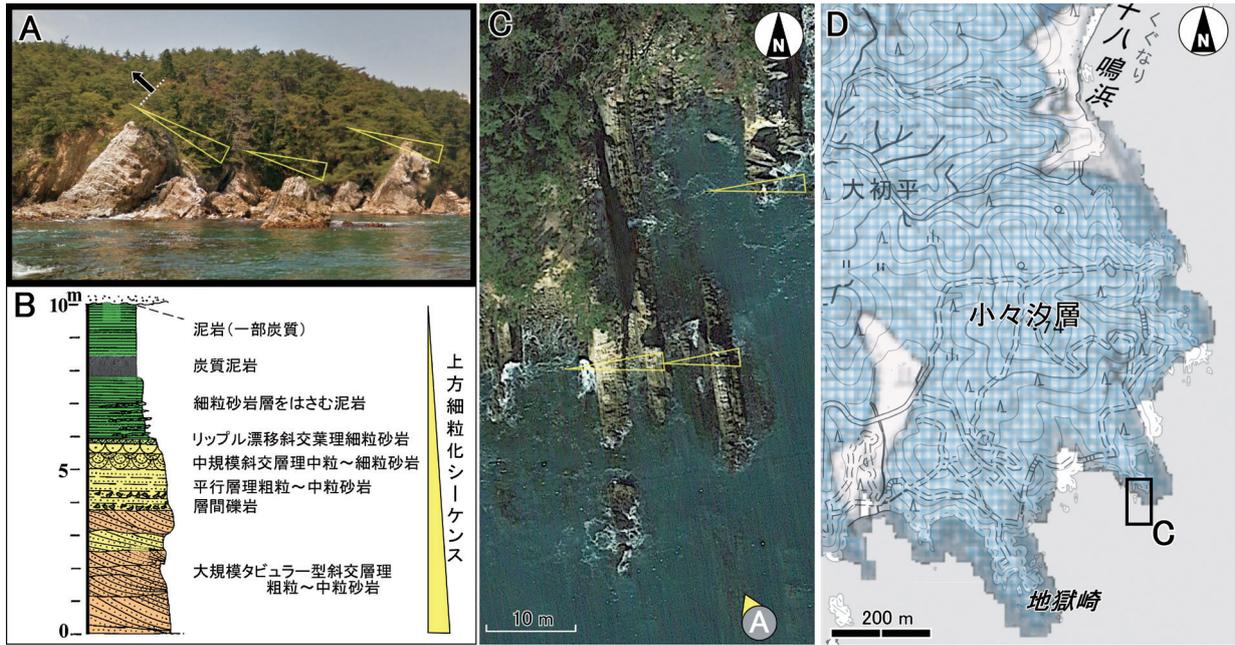


図5 ストリートビューによるジュラ紀堆積相の確認の事例

A：蛇行河川堆積相を示すジュラ系小々汐層砂岩と泥岩の露頭。地層は西南西（左方向）に約50°傾斜する。黄色△印が一つの上方向細粒化シーケンスを示す。大島地獄崎東（Google マップ：<https://www.google.com/maps/@38.8644695,141.6326614,2a,30y,354.31h,96.82t/>）。2014年7月撮影。B：大島瀬戸における小々汐層下部の上方向細粒化シーケンスの計測岩相柱状図。Takizawa(1985)の図（Fig.30）に塗色し追加記述して改変。C：航空写真におけるAの位置と方向。南北方向の層理が明瞭で、黄色△印が一つの上方向細粒化シーケンスを示す。「地質図Navi」でGoogle 航空写真の背景地図を使用。D：地質図上のCの位置。

り、その層理にやや斜交する方向で黒色の岩脈が数本貫入している。

6. おわりに

本報告では、航空写真や種々の地形図も併用した地質図情報の教育現場での利用について、気仙沼地域において検討した事例を紹介した。本報告の利用方法は、他の地域でも対象や学習のねらいを代えながら同様に展開できるとみられる。特に、露頭が多い海岸部や山間部では、航空写真やストリートビューでさまざまな地質事象が見られることが多いので、地域地質を理解する有効な手法となり得る。

学校現場の授業で地質図情報を利用してゆく上で重要なポイントは、一方的な図や画像の提示ではなく、生徒が地質図や種々の地形図、衛星画像や現地の露頭画像を見ながらさまざまな点に気づくよう促し、それぞれの情報の関連性を見抜くよう助言指導することであろう。その上で、例えば地域の地質の成り立ちでは、図3に示したように、地質図に見られる地層、岩石、地質構造などとそれに付随する情報をもとにして、地

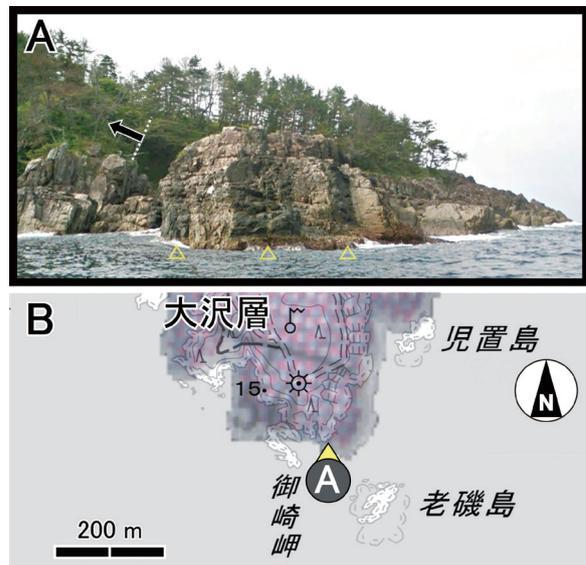


図6 ストリートビューによる前期白亜紀岩脈の確認の事例
A：三疊紀大沢層の砂岩泥岩に貫入する岩脈の露頭。黄色△の黒色部分が岩脈を示す。周囲の大沢層の地層はN20°～30°Eの走向で70°～80°西傾斜し、岩脈はそれにやや斜交する。唐桑御崎岬（Google マップ：<https://www.google.com/maps/@38.8566079,141.6737004,2a,30y,357.52h,98.25t/>）。2014年6月撮影。B：地質図上のAの位置と方向。

質単元や事象を時系列的に並べることによって、歴史的な成立過程を組み立てる論理的な思考力を養うことに発展できるであろう。

衛星画像（特に Google Earth）や航空写真は、地学教育の分野ではかなり以前から学習ツールとして取り扱われており（例えば、Whitmeyer et al., 2012）、学校現場での実践例も多い。2020年には世界的に遠隔授業の実施が不可欠となり、衛星画像を用いたデジタル野外観察に関するオンラインセッションやセミナーなども盛んに開催されている。しかし日本では、地質事象の観察手法として、衛星画像やストリートビューの利用はまだ少ない。これは地域内で観察に適した場所が少ない状況のほかに、ストリートビューのルート沿いの人工露頭では植生や施工による被覆などによって、海岸の自然露頭でも撮影された場所の方位や天候などによって、それぞれ必ずしも地質事象が十分確認できない状況にもよる。それでも、今回検討した気仙沼地域のように海上ルートの画像や、付随する360°カメラによる良質な画像がストリートビューに追加され、それらがアーカイブ化されてゆけば、利用価値は高まると予想される。ストリートビューは、野外観察における事前事後の現地の状況確認としても利用できるばかりでなく、アクセス、天候、安全などの都合で実施が難しい場合の擬似体験的な観察の代用ツールともなる。地質図情報と合わせて、今後、学校現場での利用事例が増して、学習の展開技法や観察適地などに関する情報交換や共有化が進むことを期待したい。

謝辞

本報告は、平成19年度本吉地区教育研究会中学校理科部会研修会で講演した内容とその後の検討を加えてまとめたものである。気仙沼市立新月中学校の名取秀樹校長はじめ研修会に参加した方々には、地質図情報を利用した地域の地学教材や学習方法に関して、種々のご意見をいただいた。気仙沼市教育委員会ならびに同市商工観光課には、気仙沼地域の地質教材やジオサイトに関するご意見をいただいた。本研究は、科学研究費補助金（16K00947、代表：川村寿郎）の助成を受けたものである。

文献

- 永広昌之 (1977) 日誌 - 気仙沼断層 - とくにその性格と構造発達の史的意義について - . 東北大学理学部地質学古生物学研究邦文報告, 77, 1-37.
- 広川 治・古田 尚 (1954) 5万分の1地質図幅「人首」および同説明書. 地質調査所, 33p. 鎌田耕太郎 (1993) 津谷地域の地質. 地質研究報告 (5万分の1地質図), 地質調査所, 70p.
- 神戸信和・島津光夫 (1961) 5万分の1地質図幅「気仙沼」および同説明書. 地質調査所, 73p.
- 川村寿郎・高橋知美 (2016) 中学校理科における「20万分の1日本シームレス地質図」を活用した学習. 宮城教育大学紀要, 50, 127-133.
- Kobayashi, T. (1941) The Sakawa Orogenic Cycle and its bearing on the origin of the Japanese Islands. Journal of Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, Section II, 5, 219-578.
- 小貫義男 (1969) 北上山地地質誌. 東北大学理学部地質学古生物学研究邦文報告, 69, 1-239.
- 竹内 誠・御子柴真澄 (2002) 千厩地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 76p.
- Takizawa, F. (1985) Jurassic Sedimentation in the South Kitakami Belt, Northeast Japan. Bulletin of Geological Survey of Japan, 36, 203-320.
- Whitmeyer, S.J., De Paor, D.G., Bailey, J., and Ornduff, T., eds. (2012) Google Earth and virtual visualizations in geoscience education and research, GSA Special Paper, no.492, 468p.

(令和2年9月30日受理)