

地質学的時間変遷の解読法： 地層のまるごと記載による手法開発

Decoding Method of Geological Time Transition:
Development of Wholly Description Technique of Strata

小出 良幸*

It is difficult to reveal the geological time recorded in the strata. One reason is that the limitations of expenditure, time and labor should be selected from the existing information in strata. I reported the method of wholly describing the record of the strata without selecting information. The wholly information of strata could be used adding a little time and labor at the field survey.

I はじめに：地層記載の重要性

地質学の重要な目的は、大地の営みを時間変遷に基づき復元することである。時間変遷の復元に用いる素材は、岩石である。岩石には、火成岩、変成岩、堆積岩の3つの違った成因をもつものがある。地球において堆積岩は、3つの起源の中でも、一番存在量の少ない岩石であるが、地球の表層環境の記録としては、一番情報量が多いものである。例えば、化石は堆積岩からしか産しないが、地球表層に生息する生物を調べるためには、堆積岩は不可欠な情報源となる。地球の時間変遷を復元するために、堆積岩がつくる地層を詳細に記録することは、非常に重要な作業となる。

地球の時間変遷の復元において地層は重要な研究素材となり、その入手は不可欠である。地層は可能な限り詳細に記載され、地層を構成する堆積岩は試料として採取され、実験室でのより詳細な分析や実験に供される。

地層は野外に産するものであるから、地層

記載は野外での作業となる。野外での調査は、天候や露頭条件によって、同じ人が調査をおこなったとしても、その精度にばらつきがでてしまう。ましてや、経験や熟練の違う人が同時に調査をおこなったとしたら、同じ地層においても、その記載の精度や情報量に大きな差が生じることになる。そのような外的な影響をできる限りなくして収集された情報が基礎データとなる。野外調査では、目的に応じた手法で、地層を可能な限り詳細に記録することが重要な作業となり、その精度も外的条件に左右されてはならない。

現実の野外調査では、調査範囲に分布する地層が大量にあったとしても、調査人数や日程に見合った地層を、重要度に応じて選別されて、記載されていく。また、天候が不順だと調査の効率も悪くなり、さらに間引かれた調査になることもある。あるいは露頭条件が悪くて地層が少なければ、大半の日数や労力を限られた露頭の少数の地層に費やされ、可能な限り詳細に記載されていくであろう。

*KOIDE Yoshiyuki 札幌学院大学人文学部

つまり、野外調査による素材収集には、天候や露頭条件、人的や経済的効率などの外的な理由によって、その素材の記載精度にはムラが生じてしまうことも起こりうる。このような問題点は、地質学において、今までほとんど指摘されることがなかった。実は、素材の記載における精度のムラは、実験室内での定量的データへの潜在的バイアスとなっていくはずである。もしこのようなバイアスを考慮することなく、定量化や統計的処理をしてしまうと、真実を見誤ることも起こりかねない。

調査精度のムラによるバイアスを除くためには、大量に分布する地層の露頭であっても、少量しか露出していない露頭であっても、同じ精度で記載をすることが重要になってくる。そのためには、記載精度を、悪い方にあわせるのではなく、良い方にあわせることが重要になる。たとえ当面そのような精度が必要ないとしても、高精度での記録をしておき、間引いて使用すれば、問題はない。

大量の地層であっても、少量の地層であっても、同じ程度十分な時間をかけて調べるのが望ましい。だが、大量の地層を、すべて詳細に同じ精度に記載するためには、膨大な労力が必要になる。地層が分布しているすべての露頭を、もれなく「まるごと」同じ精度で記載していくことになる。そのためには、労力と作業時間をいかに減らし、調査効率を上げるかが問題となってくる。本研究は、デジタル処理によって、大量の地層を「まるごと」同じ精度で簡便に記録する方法を開発していくことを目的としている。地層情報はすべてデジタル化し、現地に再度調査に行くことなく、必要に応じて詳細な記載ができるものを目指すことである。本論文では、その方法を提案する。

本研究は、札幌学院大学の個人研究奨励金を用いて行ったものである。

II 地層記載に必要な情報

堆積岩を記載するために必要な情報は多岐にわたっている。一般的な地質調査では、調査地域全体の岩相構成と地層の構造（走向・傾斜、層理面、片理面、断層面、不整合面）を把握することが重要であるとされている（日本地質学会地質基準委員会、2003）。広域にわたる地質を復元するために、露頭ごとにその地理的位置を正確に定め、岩相構成と地質構造を調べることになる。本格調査として、次のような作業がなされる。

「精査の場合には、すべての道の踏査、すべての沢を詰めてできるだけ多くの露頭を調査する。岩相の観察の基本は、形成過程（formation process）を考慮してその特徴をつかむことであるが、露頭から得られる情報はきわめて大量であり、それらの情報をすべて収録することは不可能である。また、収録された膨大な情報を解析するための時間を確保できなければ無駄になることから、取得情報の取捨選択は調査経験に基づき、露頭観察時に実施されている。」（同上、p 12）

この記述からもわかるように、露頭においてあまりに多くの情報があるために、岩相構成と地質構造の情報を「経験に基づき」「取捨選択」しなければならない。この経験に基づく取捨選択とは、非常にあいまいさを伴うものであり、地質学の発展や調査の目的によっても変化する。

理想的には、経験などに基づかず誰でも同程度に、同一基準で取捨選択することなく細大漏らさず詳細に記録することが望ましい。しかし、現実には技術的にも労力の上からも困難である。既存の技術を用いて、ある程度同一基準の地層記載を実施することは可能である。岩相の記述とその構造を効率的に詳細に記録できる技術があればいいのである。以下では、岩相と構造の記録の方法を考えていく。

1 岩相の区分

簡便化された岩相記載の方法をまず考えなければならぬ。「国際層序ガイド」(日本地質学会訳編, 2001)によれば, 岩相とは, 次のように書かれている。

「その層序単元の優勢な,あるいは特徴的な岩相をしめし一般に受け入れられているもっとも単純なものでなければならない。」(同上, p 45)

堆積岩は, いくつかの分類方法があるが, 地質基準 (日本地質学会地質基準委員会, 2001)によれば, 「人工」と「自然」に2つに大別しているが, 本研究での対象は自然の堆積物が固化した堆積岩である。地質基準では堆積物として記述されているが, 野外調査で古い堆積物は, すべて堆積岩として分布するので, 堆積岩と読みかえればよい。

自然堆積岩は, 「堆積作用によって形成された」正常堆積岩と, 「大陸縁辺における海洋プレートの沈み込みに伴う付加作用によって形成された」付加体堆積岩に大きく2つに区分される (表1)。

正常堆積岩は, 陸に存在する岩石が碎屑粒子として, 水流によって運搬され, 地表や水底に定置する作用によって形成されたものが, 固化したものである。堆積物粒子の供給源の種類や供給源からの距離, 定置する環境によって正常堆積岩の特徴が定まっていく。

言い換えると, 正常堆積岩は, 堆積物の供給源, 運搬経路, 運搬様式, 定置環境の情報を保持している可能性があることになる。

斜面において堆積物が未固結で重力的に不安定な場合, なんらかのきっかけ(地震など)によって, 重力移動を起こすことがある。重力移動が起こると, 堆積物は周囲の液体と混じりあって混濁流 (turbidity current) となり, 長距離を移動していく。このような堆積物をタービダイトと呼び, 再定置堆積岩として, 定置堆積岩と区分されている。タービダイトは, 定常堆積物が重力移動を起こせば, どのような成因のものでも形成しうることとなる。

付加体堆積岩とは, 沈み込み帯で形成される特徴的な堆積岩である。沈み込み帯には, 深海底に堆積した堆積物と陸から供給された堆積物が集まってくる。それらの堆積物は, 剥ぎ取り (off-scraping accretion) と底付け (under-plating accretion) という作用を受けて, 陸側のプレートに付加していく (日本地質学会地質基準委員会, 2001)。このような堆積物によって構成された地質体を付加体と呼んでいる。

付加体堆積岩の特徴は, 陸側から海側に向かって地層が付加していくことから, 構造的に上位(陸側)に古い地層があり, 下位(海側)に新しい地層となる。定常堆積岩とは累

表1 堆積岩の区分

区 分		成 因	例
正常堆積岩	定置堆積岩	碎屑性	礫岩*, 砂岩*, 泥岩*
		生物性	石灰岩, チャート, 化石床, ストロマトライト
		火山碎屑性	凝灰岩, 火山碎屑岩
		化学性沈殿	蒸発岩
	再定置堆積岩	重力移動し再度定置	タービダイト
付加体堆積岩		沈み込む海洋プレートによって付加	オフィオライト, メランジュ, オリストストローム

「地質基準」(日本地質学会地質基準委員会, 2001)に基づく。「地質基準」では堆積物として示されているが, 本研究では岩石が対象となるので, 堆積岩として示した。*表2を参照。

重する順が逆転している。また、付加体の構成岩石は、沈み込むプレートの境界域で形成されることから、陸と海を起源とする多様な岩石種を持つことになる。

海洋地殻を形成する玄武岩、海山を構成している玄武岩や石灰岩、遠洋性堆積物、半遠洋性堆積物 (hemi-pelagic sediments)、海溝充填堆積物 (trench-fill sediments) などがその構成物となる。また、付加作用中に、変形や泥ダイアピル (mud diapir) によって、岩石が混合したメラランジェ (mélange) と呼ばれる構造的に複雑な地質体が構成されることもある。

日本列島は、長期にわたって沈み込み帯に位置しているため、付加体が日本における地質学的骨格を構成している。時代の違う地質体が付加体として多数存在している。付加体堆積岩は日本では、重要な構成岩石となり、その研究手法も日本で発展してきた。

2 岩相記載

岩相は、堆積岩の分類名称を用いて記述される。堆積岩は、構成粒子の成因に基づいて区分されている (表 1)。堆積岩の構成粒子には、既存の岩石が風化・浸食を受けた碎屑性堆積岩、周辺に生息していた生物の遺骸から形成される生物性堆積岩、火山活動で形成された火山性碎屑岩、化学的に沈殿して形成される化学沈殿堆積岩に区分される (日本地質学会地質基準委員会, 2001)。

化学沈殿堆積岩は乾燥地域で形成される岩塩などの沈殿岩を主とするが、日本のような湿潤な気候では、ほとんど産出しない。

生物性堆積岩は、日本では石灰岩やチャートとして多数認められる。特に石灰岩は、海洋島や海山でサンゴ礁を構成していたものが付加体として取り込まれており、各地で確認されている。時には大規模に産出することもあり、石灰岩地形を形成している。付加体の遠洋性堆積物 (pelagic sediments) は、浅所

から、石灰質軟泥、珪質軟泥、赤色粘土という一般的な層序が認められている。石灰質軟泥は、浮遊性有孔虫、翼足類のアラゴナイト殻、円形藻殻からなる。珪質軟泥は、二酸化ケイ素 (SiO_2) の殻や骨片を持つ放散虫や海綿などを起源としている。赤色粘土は、風で運ばれた陸源の粘土が酸化したものを主とするが、珪質殻も含まれている。珪質軟泥と赤色粘土が固化、再結晶したものがチャートである。稀ではあるが、正常堆積岩中に化石の濃集した化石床 (fossil enclosure) や貝殻砂岩 (shell sandstone) が形成されることがある。生物性堆積岩は、起源さえ判別できれば、地層の記述自体は比較的単純である。

日本列島は火山列島であることから、火山碎屑岩が正常堆積岩の中に成層として多くあり、時代決定や層序対比のために重要な役割を果たしている。火山碎屑岩は、堆積岩と火山岩との両面の性質を持っている。そのため、火山としての性質を重視する時は、火山岩に準じた名称で区分されることもある。碎屑岩としても区分されることから、堆積岩の名称を適用されることもある。いずれにしても、堆積岩と火山岩の両方の性質を持つ点が特徴となる。

碎屑性堆積岩は、粒子の大きさとその形状 (円磨されているか、いないか) に着目して分類され、名称がつけられる (図 1)。これは、粒子サイズと形状さえ記録していれば、一義的に決定できるものである。碎屑性堆積岩は、正常堆積岩の主体をなすもので、成層した地層が大量に分布することが多い。付加体堆積岩の陸源堆積岩、タービダイトの多くも碎屑性堆積岩である。つまり、この碎屑性堆積岩の記述を効率的に行うことによって、本研究の目的である大量の地層の「まるごと記載」を行える可能性が拓ける。

3 地層の位置情報と構造情報

露頭の位置情報は、従来は地図を手がかり

粒径 (mm)	細分岩石名	岩石名
256 64 4 2	boulder conglomerate 巨礫岩	conglomerate* 礫岩
	boulder conglomerate 大礫岩	
	cobble conglomerate 中礫岩	breccia 角礫岩
	granule conglomerate 細礫岩	
1 0.5 1/2 0.25 1/4	very coarse sandstone 極粗粒砂岩	sandstone 砂岩
	coarse sandstone 粗粒砂岩	
	medium sandstone 中粒砂岩	
	fine sandstone 細粒砂岩	
	very fine sandstone 極細粒砂岩	
0.125 1/8 0.0625 1/16 0.004 1/256	siltstone シルト岩	mudstone 泥岩
	claystone 粘土岩	

図1 砂岩の粒径に基づいた分類

*礫岩で構成礫が円摩されているもの conglomerate「礫岩」、角礫のときは breccia「角礫岩」と使い分けられている。細分でも同じ使い方がされる。

にされていたが、現在では GPS が利用できるようになった(小出, 2004)。GPS によって、位置情報における熟練は必要にならなくなった。狭い谷間や林の中など空が開けていない条件では、GPS が利用できないこともある。地形を概観したり、地質図を作成したりするには、地形図の利用は不可欠で、地図を読み取る能力が不要になったわけではない。しかし、条件が整い、目的さえ明確であれば、GPS で、省力化が図られるようになってきた。露頭ごとの位置の記録は、GPS によって行えば、省力化と一定の精度は保障される。また、位置情報をデジタル情報として読み込めば、数値地図と共にコンピュータを用いて作業することも可能となる(小出・新井田, 2001)。

地層の構造は、走向 (strike) と傾斜 (dip)

が重要となる。野外調査で扱う地層は、陸地に分布するものである。地層は一般に海底で形成され、埋没し、そして地質学的擾乱によって、陸地に持ち上げられ、侵食や削剝作用、あるいは土木工事によって、露出して露頭となり、記載される。したがって、形成環境のまま、水平に地層があることはほとんどなく、多くは傾斜している。地層の構造を測定することによって、地層の広がりをも図学的に解析していくことが可能となる。地質図学は、単に地層が地表面でどこに分布するかをみるだけでなく、地下や削剝された部分に、どの程度の広がりがあるか、あったかを推定することを可能にする。

傾斜した地層は、地層面(層理面)の水平方向の方位(走向)と地層面で走向に直交する方向の傾きの角度(傾斜)を測定すれば、三次元的に記述したことになる(図2)。これらの地層の構造を、露頭ごとではなく、できれば地層ごとにすべて測定すれば、その精度はよくなる。

走向と傾斜はクリノメーター (clinometer) を利用して測定される。これは方位磁針と傾斜計、水準器が組み合わさったもので、非常に単純な仕組みのものである。ただし、一般の方位磁針とは違い、文字盤の東西が逆に記入されている。その理由は、走向を測定する時の便宜のためである。走向とは、地層面が北を基準として東または西に何度ずれているかを、N 40°E や S 10°W と表記するものである。クリノメーターの磁針の指す目盛りをそのまま読めば、走向の方位と角度がわかるようになっているのである。

最近の携帯電話には、地磁気センサー(方位センサー)が内蔵されているものがある。地磁気センサーには、磁気の強さによって抵抗値が変化する MR 素子(磁気抵抗素子)などが利用されている。MR 素子は、地磁気とセンサーの角度によって変化する抵抗値を電流の変化として読み取り、南北の方向との角

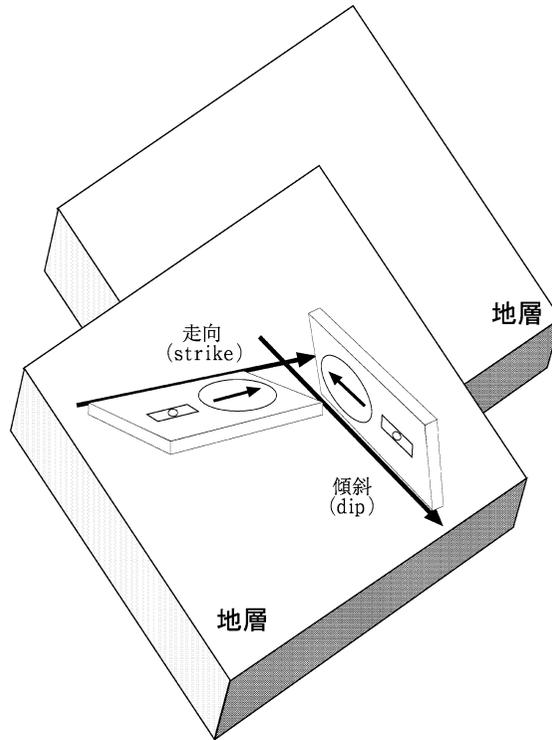


図2 地層の構造

地層の構造のうち、走向と傾斜をクリノメーターで測定する方法を示した。

度に換算される。同様に傾きを感知する傾斜センサーもある。現在では、3軸地磁気センサーとして、磁気センサーと傾斜センサーが一つに組み込まれた素子が開発されており、そのサイズも $2 \times 2 \times 1$ mmと小さいものとなっている。

このようなセンサーを利用すれば、クリノメーターをデジタル化することが可能である。現在、デジタルクリノメーター（製品名 Geocline）としてジーエスアイ株式会社が製品化している。そして Geocline には GPS が搭載されたモデル（Geocline-G）もある。地層面に3軸地磁気センサーを置けば、地層の構造が即座に読み取れる。また、GPS を内蔵しているものであれば、位置情報が同時に記録されることになる。

また地層の構造には、線として現われるさまざまな構造（線構造）がある。地層面で線

に3軸地磁気センサーをあわせれば、即座に読み取ることが可能となる。今後このようなデジタル製品が、野外調査にも利用されていくだろう。

III まるごと記載への限定条件

1 取捨選択しない

今まで述べてきたように、地層の位置と構造は、GPS 内蔵デジタルクリノメーターを利用すれば、簡単に大量に記録できる。問題は、人間が判断を要する岩石の種類の決定である。岩石の成因については、人間が現地では区別するしかない。メランジュを除けば、起源の違う堆積岩が混在するのはそれほど頻繁にはない。碎屑岩に火山碎屑性堆積岩を挟在していたり、断層などの不連続面で明瞭な境界を持つ場合である（小出，2006）。これは岩相が異なるため、見分けることが容易である。一

つの露頭では、数種類の岩石の成因とそれらの関係さえ見分けられれば、全体を簡単に記載できる。

岩石の種類決定において一番の問題は、碎屑性堆積岩の粒度の違いを見分けることである。馴ればそれほど困難ではないが、堆積岩では、地層内で粒度が変化していたり、地層ごとに粒度が違っていたりする場合がよくある。それを野外で地層の数だけ判別するのは、特別な目的がない限り不可能であり、現実的に行われることはない。野外調査では、露頭の堆積岩の概要を、「砂岩～泥岩の互層」や「砂岩優勢の砂泥互層」などとして、その量比と代表的な岩相、特徴が記述されることになる。この時、取捨選択が行われていく。

同様の情報でも、ボーリングコアでは、取捨選択されることなく、非常に詳細に岩相が記述されることが多い。それは、ボーリングコアを掘削するために多くの費用が費やされているために、その費用に見合った精度で、コアが記載されているからである。ボーリングコアは、地層を地下に向かって掘削される。そのため、直線的な情報を連続的に得ることができる。しかし、一つのボーリングコアだけで、構造を広域的に把握することは困難である。

地表踏査では、地下への広がりはないが、平面の2次元的な広がりとして地層を調査できる。地質図学的操作によって、地下や削剥されてなくなっているが上空への地層の広がりを地質構造として復元することができる。地表踏査にはボーリングコアのような費用はからないが、露出のいい調査地域では、情報量ははるかに多くなる。

地表踏査は、重要であるにもかかわらず、個人で行うことが多いため、効率よく調査することが優先される。そのため、より詳細な岩相情報を時間さえかければ読み取ることができるのに、取捨選択されていくのである。

本研究では、露頭の概要を捕まえる方法は

従来そのままに取捨選択することにして、碎屑性堆積岩の記録として、カメラでもれなく撮影する方法を提案する。地層の分布する露頭において代表的な側線を決め、その側線沿いにもれなく連続的に地層を撮影していくことにする。必要に応じて、画像から詳細な岩石分類をし、定量的な統計を取ったりすることもできるような精度で記録すればよい。

2 十分な解像度での記録

本研究では、地層を記録し、必要に応じて解析にも利用するために、デジタルカメラで撮影を行うことにする。デジタルカメラが普及していることと、大量の画像を撮影しても費用がかからず、画像の整理が簡単、検索が簡単であること、画像のコンピュータによる処理が統一的にできること、などの利点があるためである。

デジタルカメラで堆積岩を記録する場合、その解像度を確認しておく必要がある。堆積岩の記録に必要な解像度とは、画像の1画素(pixel)のサイズが、堆積岩の砂岩の粒子サイズより小さく、そして鮮明なことである。

極細粒砂岩、つまり砂の最小の粒径は、0.0625 mm となる(図1)。このサイズ以上の砂粒子が見分けられれば、堆積岩の詳細な分類が可能となる。実際にこのサイズの砂は、ルーペを用いて、かろうじて見分けられるサイズである。固結している堆積岩では、見分けづらいものも多くなる。

現在著者の手持ちのデジタルカメラでは、画素数は800万画素が最高である。したがって、1画素のサイズが、0.0625 mm 程度になっていけば、砂粒子を見分けられることになる。そのためは、横幅200 mm 程度の範囲を撮影すれば、達成できることがわかる(表2)。

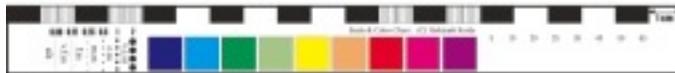
実用的には、200 mm の自作のスケールを用意して(図3)、そのスケールがちょうど収まるように撮影画角を調節すればいい。撮影

表2 カメラの画素数による解像度

Camera	画素数*	横幅 (pixel)	縦幅 (pixel)	mm/pixel**
Canon EOS Kiss DN	800 万	3456	2304	0.0637
Nikon E 8400	800 万	3264	2448	0.0674
Nikon E 5700	500 万	2560	1924	0.0859
Olympus C 5050 Z	500 万	2560	1920	0.0859
Nikon E 4500	400 万	2272	1704	0.0968
Sony CybershotF 77	400 万	2272	1704	0.0968
Fuji FinePixF 401	400 万	2304	1727	0.0955
Sony CybershotF 55	200 万	1600	1200	0.1375

この表では、今回チェックに利用したデジタルカメラを示した。*ここで示した画素数は概算で、正確には縦と横の pixel 数を掛けた値になる。**被写体のサイズを 220 mm に固定した時の 1 pixel の大きさを示した。

Geological Scale Using Field Survey



Scale Using Resolution Check

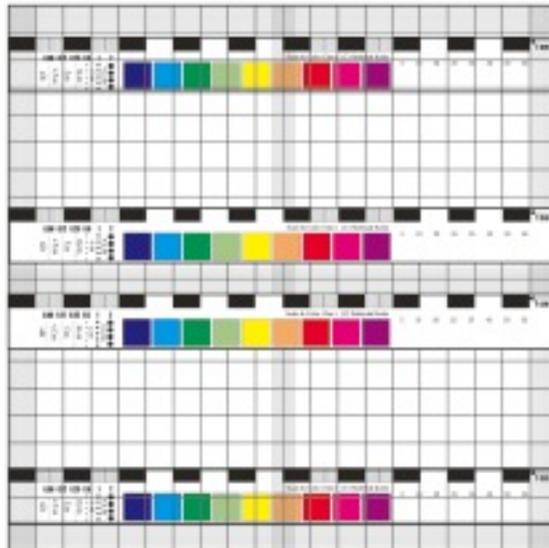


図3 地質調査用スケールと解像度チェック用スケール
スケール(上)には1mm単位の目盛りと色校正のためのカラーチャートも同時に入れている。また、砂の粒度を判別するための粒径を示している。下は、解像度チェックに用いたスケールである。

画角の両側に10mmほど余分があることになる。その10mm分を重複して撮影していけば、すべての地層の画像をもれることなく

記録することが可能となる。必要に応じて、コンピュータ上で等倍に拡大すれば、粒子が見分けられるはずである。

IV 撮影条件の検討

撮影機材は、現有のもので行うことになるが、現在では、800万画素以上の解像度を持つデジタルカメラも普及してきた。そのようなデジタルカメラであれば、カメラ自体の画素での性能は満たしていることになる。しかし、実際の画像を pixel 単位で検討をする場合を考えると、よい高い解像度、つまり鮮明な画像として撮影されている必要がある。

以下では、現在著者が所有している機材で最適な撮影条件を見出すための試みである。もちろん、今回検討した機材より良いもの（例えばより画素数が多いカメラ、より口径が大きいレンズ、手ぶれ防止機能などが付いているカメラやレンズ）を用いるのであれば、十分に堆積岩の記録のための条件を満たしていることになる。

1 水平に置いたスケールの撮影

撮影条件を定めるために、地質調査用スケールを改変して、解像度チェック用のスケールを用意して撮影をした(図3)。地層撮影において、砂岩の粒子を見分けるためには、画面全体で鮮明な解像度を得なければならない。そのために、室内でさまざまな撮影条件を考慮して実際に撮影してみて、解像度を確かめることにした。実際の撮影を想定して、すべてオートフォーカス、絞り優先での撮影を行った。また以下の検討では、等倍にして切り出した画像における比較である。

まず、使用すべきカメラとレンズの組み合わせを確認するために、水平に置いたスケールを撮影した。撮影したスケールの画像を、中心部と端の部分で解像度にどのような差があるかを比べた(図4)。

使用したカメラ本体は、800万画素の一眼レフデジタルカメラ(CANON製EOS KISS DN)と800万画素のコンパクトカメラ(NIKON製E 8400)である。一眼レフカメラには、ズームレンズ(TAMRON製28-200

mmズームレンズの最短距離の84mmで撮影)、および単焦点のマクロレンズ60mm(CANON製)と90mm(SIGMA製)を用いた。すべてのレンズで絞り開放(F値を最小にしたもの)にして撮影をした。開放値では、被写体深度は浅くなるが、ピントのあったところの解像度がよくなる。その条件で解像度を確認した。

すべての場合で、中心部は鮮明だが、周辺部では解像度が悪くなっている。NIKONのデジタルカメラの周辺部で開放値であるのに関わらず解像度がいいのは、画面サイズ(CCDサイズ)が小さいと同じF値でも被写体深度が深くなるためである(豊田, 2004)。

2 凹凸のある場合の撮影

多様な色彩を持ち、凹凸のある地層を想定して、実際の岩石を用いて撮影をし、比べてみた(図5)。岩石標本は水平に置いて撮影したが、10mm程度の凹凸があるため、カメラやレンズによって解像度に違いが現われた。

コンパクトカメラとズームレンズは窪んでいる部分の解像度がよくないが、マクロレンズは解像度が良い。60mmマクロレンズの方が90mmマクロレンズより解像度が良い。同じことが、水平に置いたスケール場合でもあった。

F値と解像度の違いを、傾斜した被写体で比べるために、解像度チェック用スケールの左側を80mm持ち上げて撮影をおこなった。ピントは中心部に合わせて、F値を2.8から32まで変化させた。凹凸のある岩石で解像度が良かった一眼レフカメラと90mmと60mmマクロレンズを用いて撮影をおこなった(図6)。

その結果、90mmマクロレンズでは、中心部も周辺分も解像度の良好な画像は、F11からF18で得られ、60mmマクロレンズでも同様に良好な解像度が得られることが判明した。

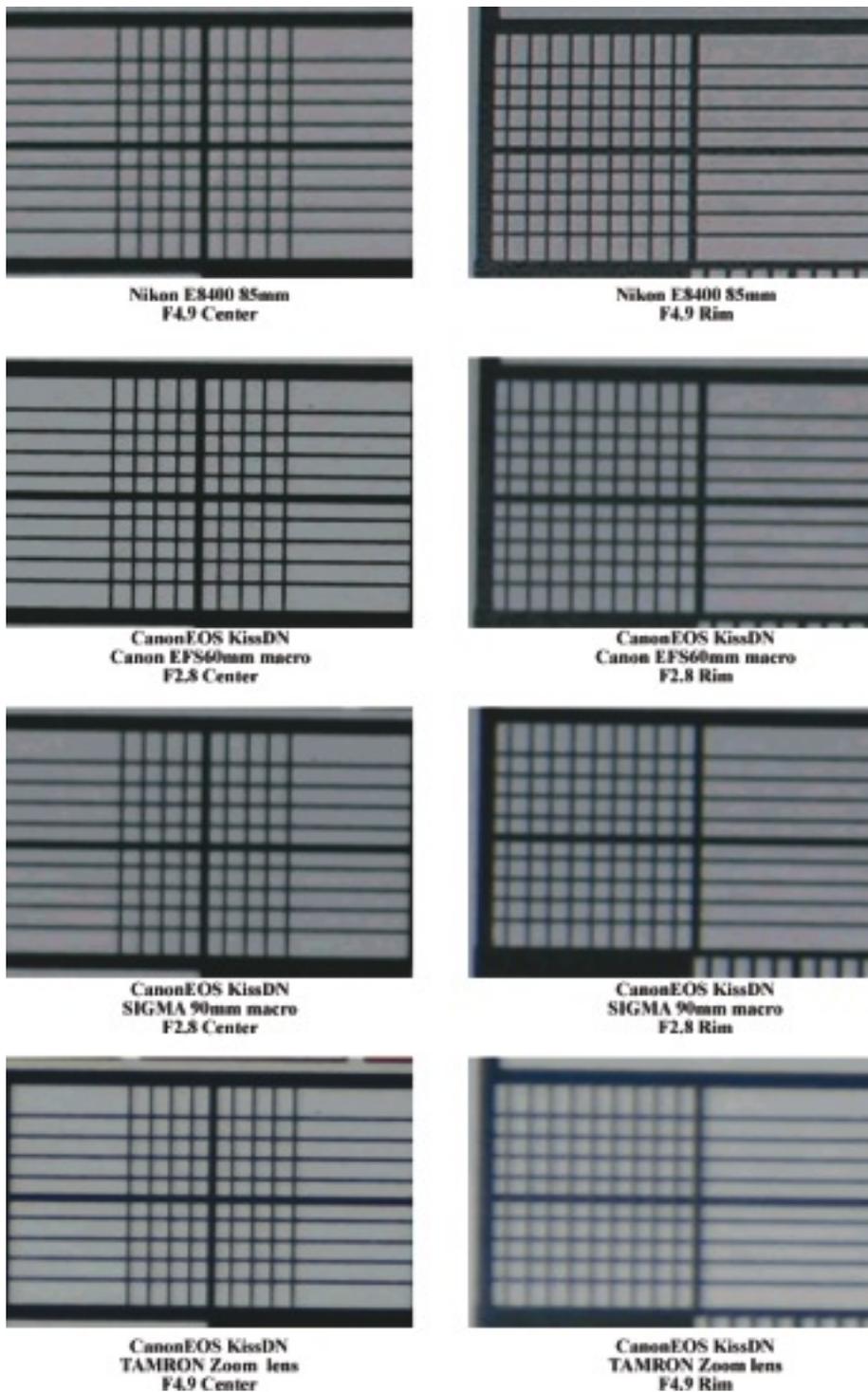


図4 水平のスケールの撮影

使用したカメラは800万画素の一眼レフデジタルカメラ(CANON製EOS KISS DN)と800万画素のコンパクトカメラ(NIKON製E 8400)である。一眼レフカメラでは、ズームレンズ(TAMRON製28-200mmズームレンズの最短距離である84mmで撮影)、単焦点距離のマクロレンズである60mm(CANON製)と90mm(SIGMA製)を用いた。画像は同じピクセル数を切り出したもので、中央部(左側の画像)と周辺部(右側の画像)である。

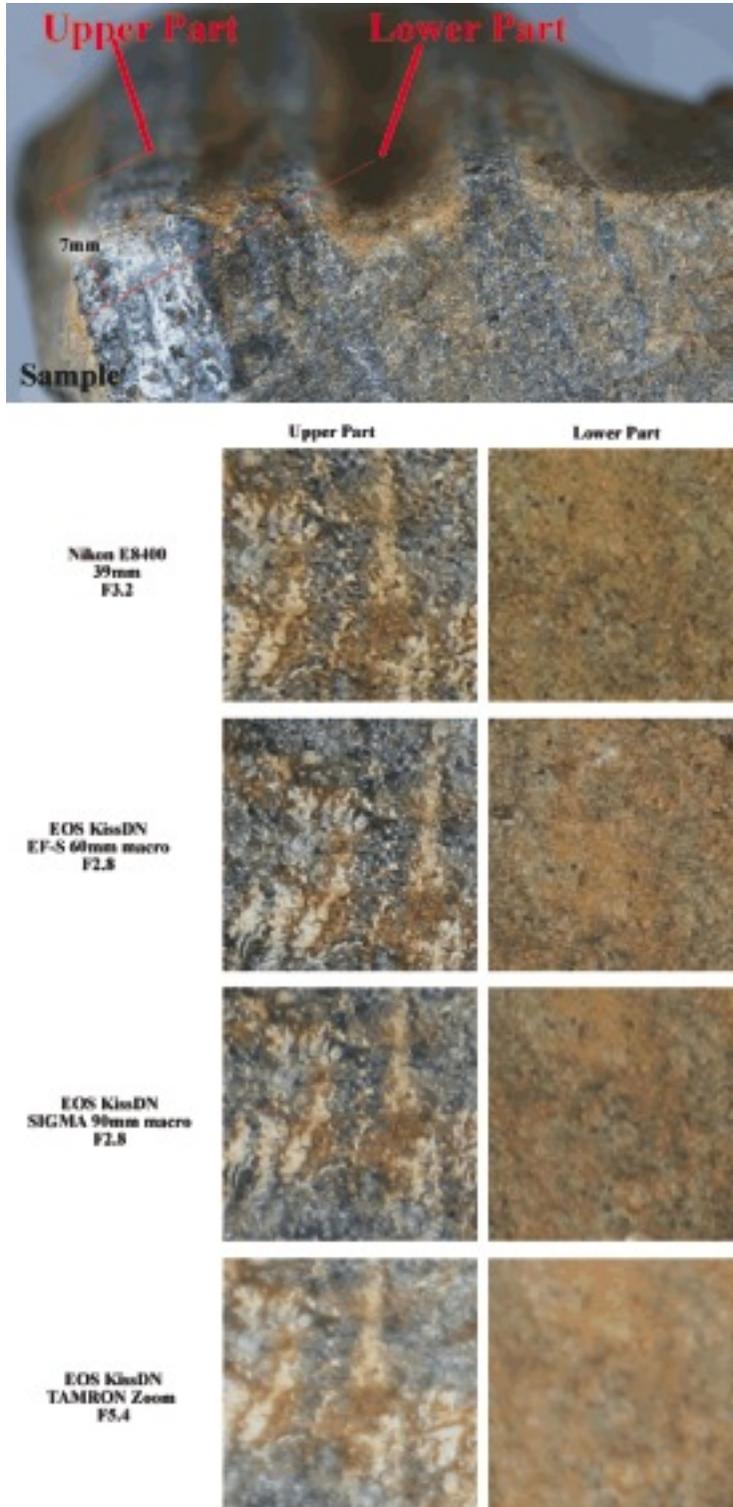


図5 凹凸のある岩石標本の撮影

凹凸がある岩石として、愛媛県別子産の層状カンラン岩を用いた。撮影機材と条件は図4と同じである。

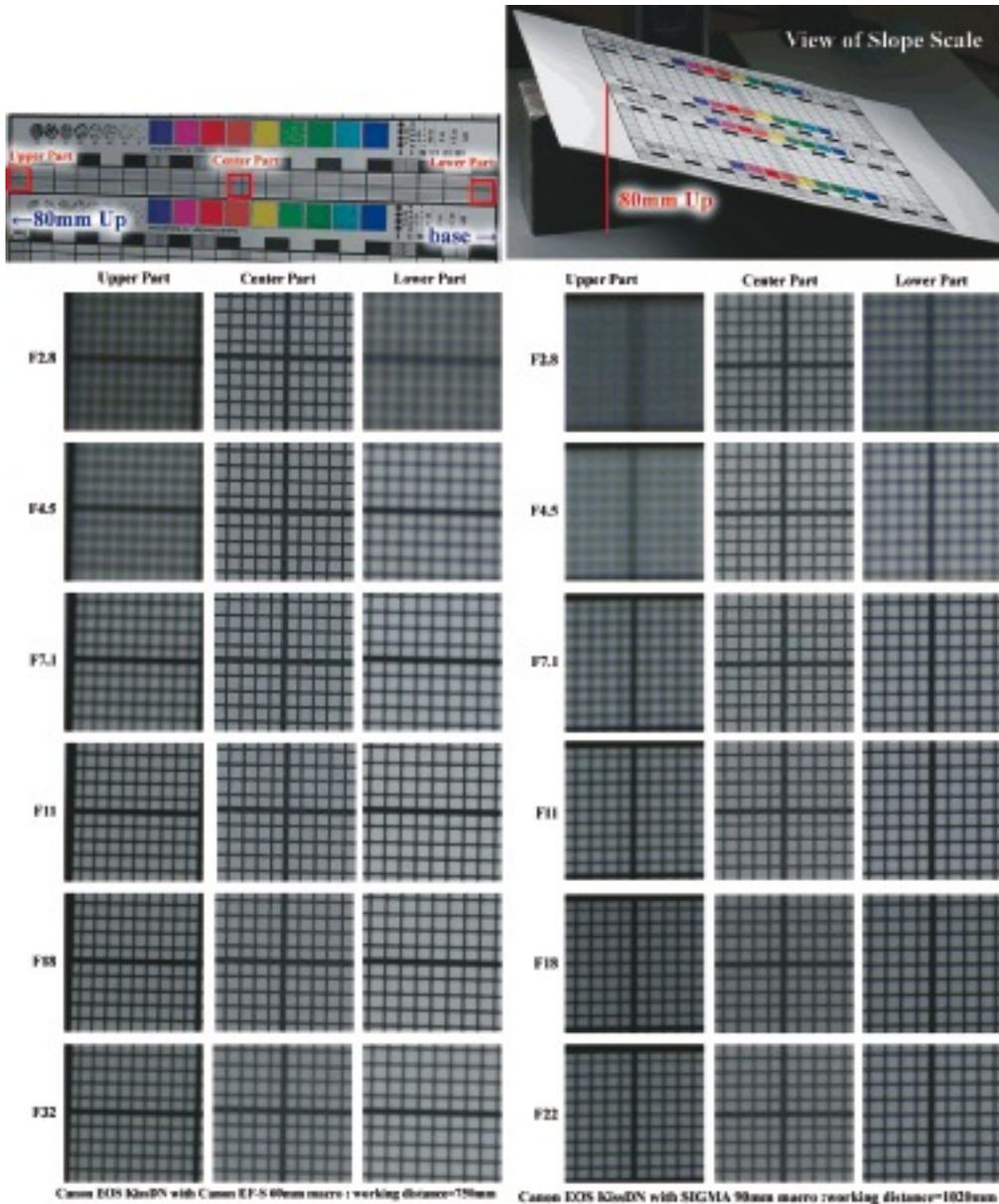


図6 傾いたスケールの撮影

左側を80mm持ち上げた解像度チェック用スケールの中央部でピントを合わせて撮影して、解像度の違いを比べた。カメラはCANON製EOS KISS DNで、単焦点距離のマクロレンズ60mm(左)と90mm(右)を用いた。

3 撮影条件の決定

F値が大きくなれば被写体深度は深くなるが、その分シャッター速度は遅くなっていき、解像も悪くなっていく。シャッター速度が遅くなれば、手ぶれを起こしやすくなる。手ぶ

れを起こせば、解像度が悪くなっていく。このような条件を考慮すると、F値は可能な限り小さい方がいいことになる。今回の検討では、F11が最良の条件となった。

所有しているマクロレンズの60mmと90

mmの比較をすると、今回の撮影テストでは、どちらも実用可能となる。対象からの撮影距離（working distance, 「ひき」とよばれるもの）は、60 mmマクロレンズは750 mmで、90 mmマクロレンズは1020 mmとなり、野外での撮影を考慮すると、90 mm以上の長い焦点距離をもつレンズの方が使いやすくなる。地層が足元にあるとき、750 mmの距離しかないときは、つねに中腰で撮影をしなければならない。大量の地層があると、この撮影条件は過酷なものとなる。

解像度をみると、90 mmマクロレンズでの撮影画像は、撮影のたびに解像度にムラがあることがわかる。これは、レンズのオートフォーカスの精度が悪いが、撮影台で固定してレリーズを用いてシャッターを切っているが、手ぶれや台の振動によるブレが生じているかもしれない。

以上のことから、60 mmマクロレンズを用いての撮影が、現状の機材では適していると考えられる。また、F11の条件で撮影をすれば、100 mm程度の凹凸であれば、砂岩の粒度を見分けるのに十分な解像度をもった画像が得られることになる。

V 地層記録への応用

これまで検討してきた条件より、60 mmマクロレンズで、絞り優先の設定でF11, 20 mmの長さのスケールがちょうど入るような画角あるいは距離で撮影すれば、砂岩の詳細な岩相を見分けられる画像を得ることが可能になるはずである。

以下では、実際に室内での化石標本と野外での地層を対象として、この撮影条件が実際に応用できるかどうかの予備的な確認を行った。

1 化石標本の撮影例

室内で照明と撮影台を用いて、凹凸があり湾曲部のあるアンモナイト化石を、上述の一

番よい解像度が得られた60 mmマクロレンズで撮影した（図7）。

標本は夕張川産の中生代白亜紀のアンモナイト化石で、ところどころくぼんだ縫合線が明瞭に認められる。化石はアンモナイトの一部で、ドーナツの一部のような形状をしており、丸みをもった標本である。撮影は、標本の中央部にピントを合わせておこなった。撮影した条件では、標本上部が30 mm高くなり、下部は40 mm低くなった状態となる。

様々な露出条件で撮影したが、F11の条件では、±30 mm程度の凹凸があっても、十分な解像度が得られることが判明した。

2 地層の撮影例

野外で地層の撮影を試みた。沖縄県名護市天仁屋バン岬海岸に露出している嘉陽層に属する2 mほどの厚さの地層で、砂岩から泥岩の互層からなる露頭である（図8）。快晴のもとでの撮影であったが、F11の条件では、シャッター速度は1/60秒となり、不安定な状態で撮影すると、手ブレが生じる条件である。そのため、曇天の日などは、カメラを手で支えるならばしっかりと構えて動かないようにするか、三脚もしくは一脚を用いて撮影をしていく必要がある。

粗粒砂岩と細粒砂岩の部分等を等しい倍率にして検討してみると、十分な解像度が得られた。このような画像であれば、堆積岩の種類の判別は可能となること明らかになった。

この地層では、実際の野外記録を想定して、11枚の画像を連続的に撮影した。その利用法の一例として、これらの画像をコンピュータによる合成法（stitchと呼ばれるもの；小出、2005）を用いたものも示した。切れ目なくつなぐような画像処理をしていけば、地層を欠落なく再現できる。

今回行ったような条件で、一定以上の解像度になるように連続的に地層を撮影しておけば、地層をもれなく記録することができ、そ

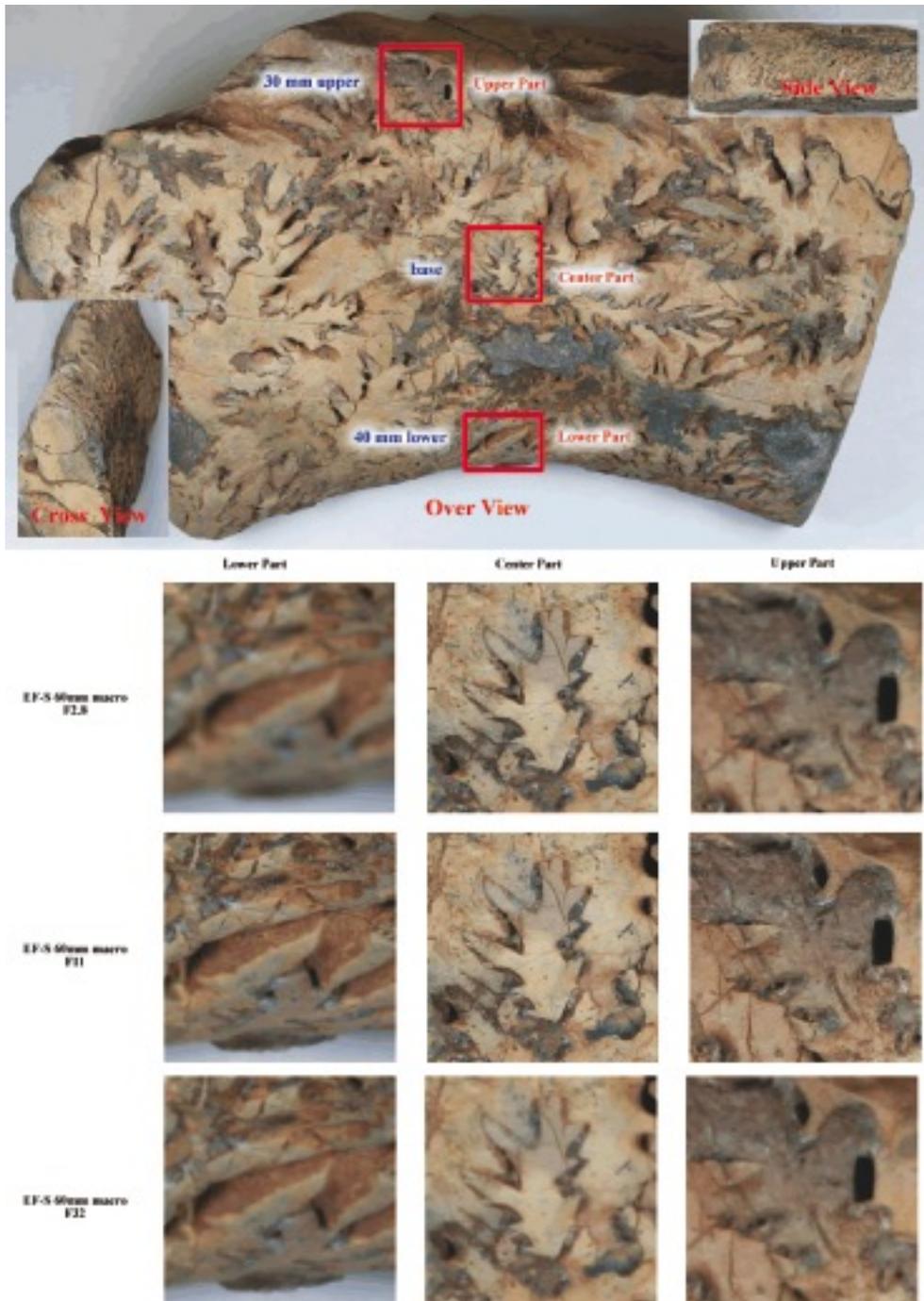


図7 アンモナイトの撮影例

アンモナイト化石は、夕張産のものを使用して、室内で撮影した。CANON 製 EOS KISS DN で、単焦点距離のマクロレンズ 60 mm を用いて撮影した。F 値の最大から最小まで撮影したが、ここでは代表的な F 値として F 2.8 (最小), F 11 (最適条件), F 32 (最大) を示した。

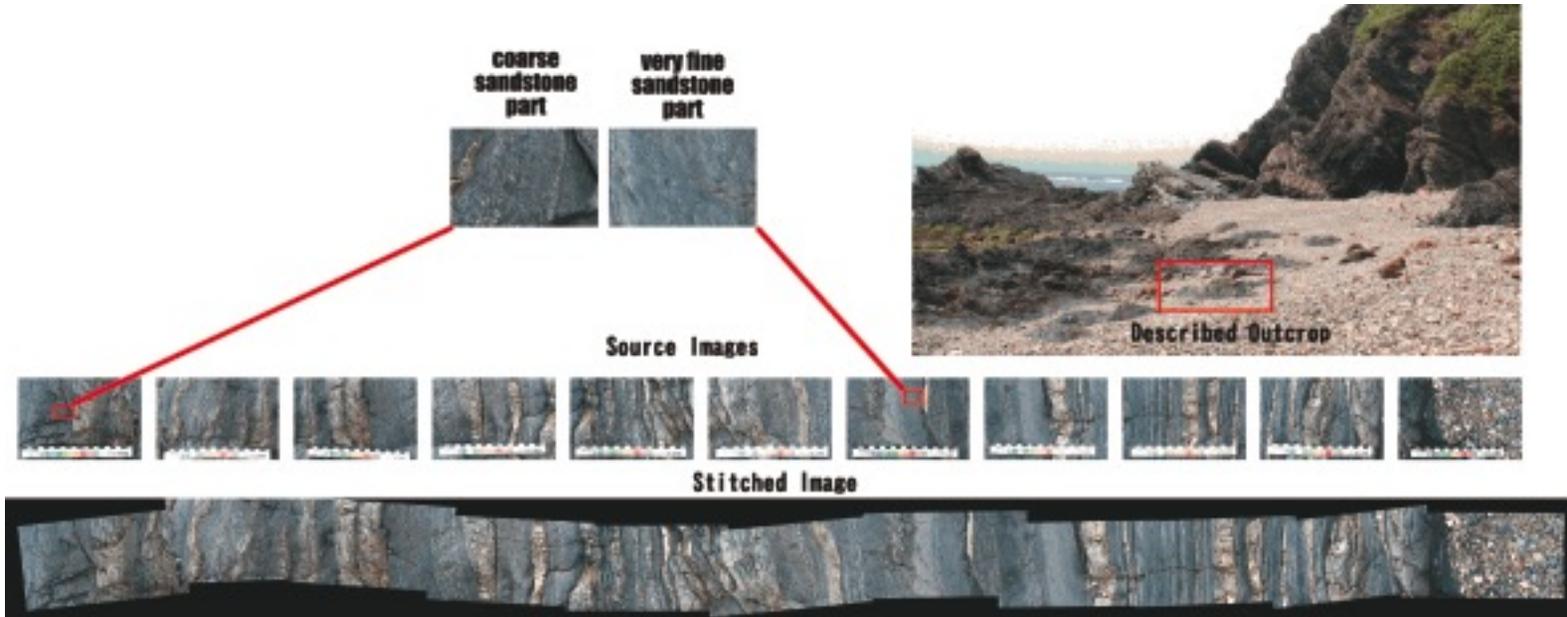


図8 地層の連続撮影例

沖縄県名護市天仁屋バン岬海岸の嘉陽層の砂岩泥岩の互層を野外で撮影。上左：粗粒砂岩の部分と極細粒砂岩の部分，上右：記載した露頭（Described Outcrop）のある海岸の景観，中央：11枚の連続撮影画像（Source Images），下：11枚の画像をコンピュータを用いてステッチ合成したもの。

の記録を後に利用することもできることが判明した。

VI まとめ

露頭の位置情報と地層の構造、岩層をデジタル記録することは、だれでも思いつき、部分的に実施されている。しかしそのような記録方法を、だれも系統的、総合的に取り組んでこなかった。今回は、その方法を理論的に考え、実践に利用できるかを検討した。既存の機材を効果的に組み合わせることで、充分実用可能であるとの結論が得られた。今後、この方法に基づいて、実際の大規模露頭で実証検証をしていく必要がある。その結果、今回紹介した方法が有効であることが判明したら、広く野外調査に利用されていくことになるであろう。

本論文で示した地層のデジタル記録の方法は、地質の研究における基礎データを収集するためのものである。地質学の最終目的が地質学的時間変遷の復元であるので、今回紹介したような方法による詳細で精度の高い記載は非常に重要なものではあるが、あくまでも目的達成のための基礎データにすぎない。地層から読み取られる情報は、時間による変化や地質学的擾乱による欠落があり不完全なものになっている。現状の地質学は、不完全な情報を、人間側の条件によって取捨選択して読み取っているのである。我々人類は、不完全な情報しかない限られた素材を完全に読み取る術すら未だに完成していない。

もし仮に、地層から読み取るべき情報が完全に読み取る技術が完成したとしても、我々人類は、その情報から地質学的時間変遷の復元し、読み取る方法論を完成していない。しかし、それらの困難を少しでも解消していくために取り組むことが、重要な知的進歩を生み出すのである。今回の地層の「まるごと記載」も、情報収集の方法も地質学の進歩に貢

献できるものと考えられる。

文献

- 小出良幸 (2004) 「GPS と数値地図を用いた野外調査の効率化とデータベースの可視化」『札幌学院大学情報科学研究所 情報科学』vol.24, 7-20.
- 小出良幸 (2005) 「野外現況の記録とパノラマ画像を用いた提示手法について」『札幌学院大学情報科学研究所 情報科学』vol.25, 13-31.
- 小出良幸 (2006) 「物質、時間、空間の視点からみた地質学的境界」『札幌学院大学人文学会紀要』vol.80, 21-41.
- 小出良幸・新井田秀一 (2007) 「数値標高による地質情報の可視化と地質学への応用について」『札幌学院大学社会情報学部紀要 社会情報』vol.16, No.2, 19-38.
- 日本地質学会 編 (2001) 『国際層序ガイドー層序区分・用語法・手順へのガイド』共立出版, 238 p.
- 日本地質学会地質基準委員会 (2001) 『地質基準』共立出版, 180 p.
- 日本地質学会地質基準委員会 (2003) 『地質調査の基本ー地質基準』共立出版, 220 p.
- 豊田堅二 (2004) 『図解 カメラのしくみ』日本実業出版社, 182 p.

摘 要

地層に記録された地質学的な時間変遷を完全に復元することは困難である。時間的、経費、労力などの制限があるため、存在する情報を取捨選択されていくことも多い。地層から読み取られる情報を取捨選択することなく、地層の記録をまるごと読みとる方法を開発した。従来の野外調査に少しの手間を加えることによって、今まで利用することができなかった情報を、捨てることなく「まるごと」収集でき、必要に応じていつでも利用することができるようになる。