

長野県の中部中新統下部別所層に挟在する メタン湧水性石灰岩(穴沢石灰岩)の ボーリングコア試料の岩相記載

延原尊美¹・大捕由貴¹

Data report: Lithological description of boring core samples of the lower Middle Miocene methane-seep carbonate mound (the Anazawa Limestone) in the Bessho Formation, Nagano Prefecture, central Japan

Takami NOBUHARA¹ and Yuki OHTORI¹

Abstract The Anazawa Limestone is one of the largest methane-seep carbonate mounds intercalated in massive siltstone of the lower Middle Miocene Bessho Formation, Northern Fossa Magna Region, central Japan. In August 2007, boring core samples were obtained in order to make clear the subbottom structure of the Anazawa Limestone. The drilling direction (N57°W, 35°S) is normal to the bedding, and the core samples were recovered continuously from the outcrop surface to 50.5 m in core depth. This is the first data report on its lithological succession and fossil occurrences in the core samples.

The Anazawa Limestone is mainly composed of muddy micrite yielding abundant chemosynthetic bivalve fossils, such as vesicomysids (*Adulomya uchimuraensis*) and bathymodiolins (*Bathymodiolus akanudaensis*). In the core succession, the muddy micrite was intermittently confirmed in the upper part of the core (above 20.8 m in core depth), intercalating about 1-m thick beds of calcareous siltstone and massive siltstone. Chemosynthetic bivalve shells commonly occur from both micrite and siltstone in the upper part of the core. Almost all of the muddy micrite and calcareous siltstone are characterized by autobrecciated or fractured fabrics, which contain intraformational breccias of variably cemented micrite-intraclasts exhibiting both brittle and ductile deformation. Below the depth of 20.8 m grey massive siltstone is continuously distributed, but above 39.5 m core depth the siltstone contains abundant irregular-shaped small calcareous granules, less than 1 cm in diameter.

Key words: chemosynthesis, methane-seepage, limestone, Miocene, Bessho Formation, Northern Fossa Magna

はじめに

北部フォッサマグナ帯に広く分布する中部中新統下部別所層は、日本海開裂時に海溝陸側斜面に堆積したシルト岩からなる(原山, 2006)。別所層は長野県松本市の

北部において石灰岩体を複数挟在しており、巨大なものは長径20 m以上におよぶ。それらの石灰岩体のうち、赤怒田石灰岩はシロウリガイ類などの化学合成二枚貝類を多産すること(Tanaka, 1959など)に加え、著しく低い炭素同位体比を示すこと(佐藤ほか, 1993)から、メタ

¹静岡大学教育学部地学教室, 〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836

¹Geological Institute, Faculty of Education, Shizuoka University, 836 Oya, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529, Japan
E-mail: etnobuh @ ipc.shizuoka.ac.jp

ン湧水に伴って形成されたことが指摘されている (Kanno *et al.*, 1998). しかしながら, それらの石灰岩体の規模や地下への連続性については, 具体的なデータが示されていない状況にある.

著者らは, 2007年8月3日~31日において, 赤怒田石灰岩の北北東約300mに位置する穴沢石灰岩において, その地下構造を明らかにする目的でボーリングコア調査を実施した. 穴沢石灰岩は, 直径20mにおよぶ露頭壁面を有する巨大な石灰岩体で, 赤怒田石灰岩同様にシロウ

リガイ類を多産することが報告されており (Kanno *et al.*, 1998), メタン湧水に起源すると思われる. 本報告では, ボーリング調査の一次資料として岩相写真データを提示し, 石灰岩体の規模や岩相の特徴について簡単な報告を行う.

掘削地点の地質概要

調査地域および掘削地点をそれぞれ図1, 2に, 掘削地点の露頭写真を図3に示す. 本報告では, 図2に示す穴沢集落一帯に点在する石灰岩の露頭群をまとめて「穴沢石灰岩」と称する. 穴沢石灰岩は, 赤怒田集落側の巨大な石灰岩体 (赤怒田石灰岩) から北北東約300mに位置する. 穴沢石灰岩と赤怒田石灰岩の露頭群は, 周囲の泥岩の走向方向にほぼ一致して点在しており, ほぼ一連のメタン湧水活動に起因するものと考えられる.



図1 調査地域 (国土地理院発行 1:25,000 地形図「三才山」を使用).

Fig. 1 Investigation area plotted on 1:25,000-scale topographic map Quadrangle "Misayama".

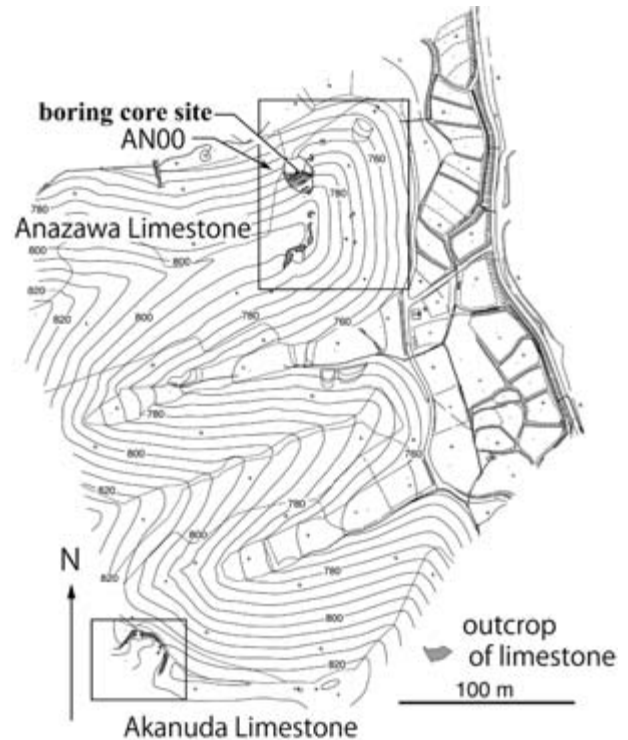


図2 赤怒田および穴沢石灰岩の露頭分布図とコア掘削地点.
Fig. 2 Outcrop distributon of the Akanuda and Anazawa Limestones, with the location of boring core site.

これらの石灰岩体を含む別所層 (命名: 本間, 1927) は, 上田市別所温泉付近を模式地とし, 一般に岩相変化の乏しい黒色泥岩からなる. 最大層厚は旧四賀村西部付近で2470mにも達する (齊藤ほか, 1989). 松本市北方に分布する別所層の地質年代は, 浮遊性有孔虫化石をもとに Blow (1969) の N9~N10 帯とされ, その一帯の別所層は 15-14Ma に水内帯南端部における沈降域に厚く堆積した泥岩層と位置づけられている (小坂ほか, 1992), 堆積水深に関しては, 正谷・市村 (1970) の底生有孔虫化石群集の研究や, Tanaka (1959) によって報告された貝化石群集の属構成から, 陸棚斜面であったとされる.

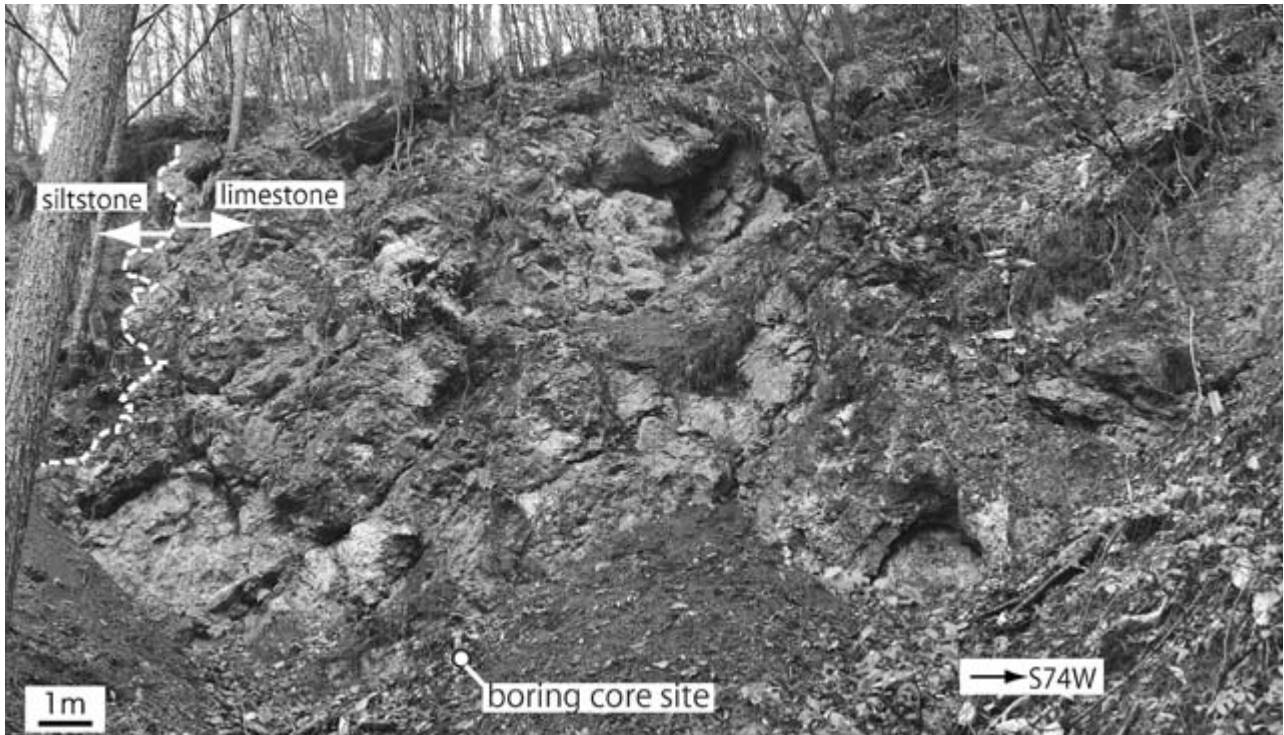


図3 ボーリングコア掘削地点の露頭 AN00.

Fig. 3 Outcrop photograph of site AN00, showing boring core location.

また、タコブネ化石が産出することから、暖流影響下において堆積したことも指摘されている（小坂・田口，1983）。

別所層によって整合で覆われる内村層は、いわゆるグリーンタフ変質をうけた玄武岩質～デイサイト質の火山岩および火山砕屑岩を主体とし、フォッサマグナ開裂時のリフト帯での火山活動としての特徴を有するものと思われる（原山，2006）。以上のことから、別所層は日本海拡大時の引張テクトニクスによって生じた海溝斜面の充填堆積物として位置づけられている（原山，2006；小林，2006）。

別所層を含む北部フォッサマグナ地域の新生界は、北北東－南南西あるいは北東－南西方向に軸をもつ褶曲構造に支配されている。赤怒田石灰岩や穴沢石灰岩が分布する地域は、錦部背斜の南東延長、伊深背斜の北西延長にあたるが、その地質構造は不明瞭で、石灰岩体周辺のシルト岩は一般に北への急傾斜を示す（斉藤ほか，1989）。

コア掘削は、穴沢石灰岩の中でも最大規模の露頭であるサイト AN00 の基部から行った。AN00 に露出する石灰岩は高さ、幅ともに 10 m を越えており、露頭東縁部において周囲の灰色塊状シルト岩と不規則な境界で接する（図 3）。また境界部には石灰質シルト岩がしばしば発達し、両者の岩相変化は漸移的である。このことから、サイト AN00 に露出する石灰岩は陸棚斜面の泥底環境で形成されたものがそのまま保存された原地性の岩体であると考えられる。露頭東縁部のシルト岩にはシロウリガイ類 *Adulomya uchimuraensis* の化石密集層が挟在している。密集層中の貝化石はすべて横倒しになっており、運搬作用を被っている。また、すべての殻は扁平につぶされているが、圧縮軸は横倒しになった殻の接合面と垂直な向きであり、

堆積物の圧密による変形と推定される。密集層の走向・傾斜は安定しており、 $N20 \sim 54^\circ E$ 、 $52 \sim 60^\circ N$ であった。この値は、斉藤ほか（1989）による地質図において赤怒田周辺で示されている走向・傾斜の値にほぼ等しい。この走向・傾斜を石灰岩体にも適用すると、サイト AN00 における石灰岩体の最下部の層準は、露頭東部の最下部にあたる。

そこで、コア掘削は図 3 に示す露頭東部の最下部付近から、周囲のシルト岩の走向・傾斜のモード値（ $N33^\circ E$ 、 $55^\circ N$ ）に垂直な方向（ $N57^\circ W$ 、 $35^\circ S$ ）に行った。周囲の地形測量およびコア掘削は、株式会社明治コンサルタントに依頼した。調査期間は、2007 年 8 月 3 日～31 日、コア径 86 mm で深度 50.5 m まで掘削した。

掘削されたコア試料は、静岡大学教育学部に持ち帰った後に水流で表面の泥を洗い流し、岩相や構造が明瞭になるようにして近接撮影を行い、それらのデジタル画像を合成してデータベースを作成した（図 4 および付図 1～10）。なお、代表的な岩相については、電動ルータを用いてコア表面から粉末試料を採取し、静岡大学機器分析センターの全自動粉末 X 線回折計（理学電気製）を使用して構成鉱物の特定を行った。

石灰岩体の規模および岩相分布

詳細な岩相記載、貝化石の産出層準および XRD 分析の結果を付図 1～10 に全コア試料の一覧を図 4 に示す。コア試料はとほどころ土壌化あるいは二次的な破碎をうけているものの、ほぼ欠損なくコア長 50.5 m にわたる連続的な岩相変化を観察することができた。本章では、穴

沢石灰岩の規模について特定し、岩相変化の概要を述べる。

ボーリングコア試料は大きく分けて、コア深度 20.8 m を境に、それより上位の石灰岩優勢な部分と下位の灰色塊状シルト岩とからなる。コア深度 20.8 m 以深においては、直径数 cm の粒状炭酸塩がシルト岩中に発達することはあるが、基質堆積物そのものが石灰化することはない。本論では、このコア深度 20.8 m をもって穴沢石灰岩の基底と定義した。サイト AN00 はかつての石灰岩石切場であり、崖面は山腹から水平距離にして 10 m 以上掘りこまれており、走向・傾斜から判断して少なくとも層厚 5 m 分は採掘で失われている。このことをあわせて考えると、穴沢石灰岩は少なくとも層厚約 25 m にわたる規模を持つものと推定される。

露頭からは、*Adulomya uchimuraensis*, “*Bathymodiolus*” *akanudaensis*, *Lucinoma* sp., *Conchocele bisecta* 等の大型の化学合成二枚貝化石の産出が確認できるが、コア試料中では断面における観察なので、正確な種の同定は困難である。ただし、殻の厚さが数 mm、殻長が数 cm におよぶものは、その大きさから見て上記の化学合成二枚貝のいずれかであろうと判断できる。そのような大型の二枚貝化石の断面は、コア深度 20.8 m 以浅の石灰岩優勢部分においては、岩相を問わず認められ、しばしば密集層を形成する。このことから、この石灰岩部分は、佐藤ほか (1993) や Kanno *et al.* (1998) によって赤怒田石灰岩において指摘されているのと同様に、メタン湧水によるものと考えられる。

以下、岩相の重要な特徴を下位より順に述べる。コア深度 20.8 m 以深に発達する塊状シルト岩のうち、石灰岩体に近い 39.5 ~ 20.8 m の深度では、直径数 mm ~ 1 cm の黄白色の粒状炭酸塩を多数含んでいる。とくにコア深度 28.5 m 以浅では、粒状炭酸塩はしばしば層厚数 cm の密集層を形成する。粒状炭酸塩は角礫から円礫まで、その形状は不定形である。XRD 分析の結果、主要構成鉱物は方解石であった。これらの粒状炭酸塩は、おそらく半固結 ~ 固結状態にあった石灰質シルトが流動・攪拌作用をうけて延性 ~ 脆性破壊をうけて形成されたものと考えられる。

穴沢石灰岩を構成するコア深度 20.8 m 以浅の石灰岩優勢の部分は、主にシルト岩が石灰化した泥質ミクライトからなる。XRD 分析の結果、基質および脈状に認められる炭酸塩結晶のほとんどすべては方解石で構成されることがわかった。ただし、より泥質な部分やコア深度 20.8 m 付近の石灰質シルト岩はドロマイトやアンケライトが主成分であった。泥質ミクライトは、しばしば石灰質シルト岩や粒状炭酸塩を含む塊状シルト岩を厚さ 1 m 前後の規模で挟在しつつ断続的に発達している。それらの岩相変化は一般に漸移的で、大局的には陸棚斜面で断続的に形成された石灰岩がそのまま地層中に保存されていると考えられる。なお、コア深度 20.8 m をはじめ 3 層準において浸食面をともなった明瞭な岩相変化が認められる (コア深度 6.2 m, 14.7 m, 20.8 m)。浸食面上位の泥混じりミクライトや石灰質シルト岩には、スランプ褶曲と思われる、浸食面にそって波状変形した構造が認められることがある。このことから、それらの明瞭な岩相境界は

海底地滑りによる浸食によるものと考えられる。

石灰質シルト岩および泥質ミクライトのほとんどは、角礫から円礫、不定形に延性変形したもので、さまざまな形状の石灰質シルト ~ ミクライトの礫を含む。それらの礫は未固結 ~ 半固結状態であったものも多く、再び互いに癒着 (amalgamation) して均質塊状の様相を呈することもある。また、基質中には幅数 cm のシルト脈が炎状から不規則な形状で延性変形しつつ含まれている様子も認められる。これらの岩石組織は、基質のシルトが石灰化しつつある時に全体的に著しい流動・攪拌 (fracturing) を被って形成されたと考えられる。

泥質ミクライトには、基質が角礫状に破碎され、角礫同士の隙間が白色の炭酸塩脈によって充填された「自破碎構造」(autobrecciation) を示す部分もある (例えばコア深度 17.3 ~ 17.8 m)。白色炭酸塩脈は、しばしば幅数 cm 以上にわたって発達することもあり、炭酸塩脈中に破碎された角礫が取り込まれている (例えばコア深度 1.9 m)。このような大規模な炭酸塩脈の縁 (基質の泥質ミクライトと接する境界) には白色からやや褐色を帯びた繊維状自形結晶が、中心部には白色ブロック状結晶が発達する。このことから、このような大規模な炭酸塩脈は、泥質ミクライトが固結後に破碎もしくは溶解をうけてできた空洞を段階的に充填して形成されたものと考えられる。流動・攪拌された泥質ミクライトや白色炭酸塩脈中にとりこまれているミクライト質礫の内部には、さらに入れ子状に礫が含まれていることも多い (例えばコア深度 2.3 m 付近)。このことから、この泥質ミクライトは、石灰化・固結してしまっただけ後も、間隙水圧の異常な上昇等によって繰り返した脆性的な破碎作用を受けたと考えられる。

なお、このような大規模な白色脈の認められる層準前後には、基質の泥質ミクライト中に黒色の炭酸塩細脈が発達する岩相が認められるが、その部分のコア試料のほとんどは土壌化が進行しており、掘削時に破碎されている (コア深度 13.6 m 付近, 16.3 ~ 17.0 m, 17.8 ~ 18.8 m 付近)。

以上のことから、穴沢石灰岩は、シルト堆積物が流動・攪拌作用 (fracturing) をうけながら石灰化し、石灰化・固結後もしばしば部分的に破碎されつつ、断続的に成長をくり返して形成された複合岩体であると考えられる。

謝辞

コア掘削調査にあたり、坪田静雄氏および坪田順一氏をはじめ穴沢地区住民の方々には山林立ち入り等の作業においてご理解いただき、多大な便宜を図っていただいた。周辺地域の地形測量およびコア掘削作業は、株式会社明治コンサルタント株式会社の谷口正人氏および赤松太氏 (現アイ・エス・ソリューション株式会社) にお世話になった。現地での化石群集や岩相の調査にあたっては、信州新町化石博物館の小池伯一氏および成田健氏にご協力をいただいた。静岡大学理学部地球科学教室の和田秀樹教授、同大教育学部地学教室の楠賢司技術職員には、XRD 分析について試料の調整法や分析機器の使用に関して、ご指導・ご協力をいただいた。静岡大学

理学部地球科学科の生形貴男博士には原稿を査読していただいた。なお、本研究を進めるにあたり、日本学術振興会科学研究費補助金基盤 (B) (課題番号 18340165 : 白亜紀以降に起きた化学合成群集の進化の解明—メタン湧水場の地下構造に照らして) を使用した。記して感謝の意を表す。

引用文献

- Blow W. H. (1969), Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *In*: Brönnimann P. & Renz H. H. (eds.) *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils, Geneva, 1967*, E. J. Brill, Leiden, **1**, 199-421.
- 原山 智 (2006), 北部フォッサマグナ～飛騨山脈 アジア大陸の裂開と島弧テクトニクス. 日本地方地質誌 **4**, 中部地方 (日本地質学会編), 朝倉書店, 東京, 316-317.
- 本間不二男 (1927), 長野県中部地方の地質構造 (概報). 地質学雑誌, **34**, 132-153.
- Kanno, S., Tanaka K., Koike H., Narita K. & Endo T. (1998), *Adulomya uchimuraensis* Kuroda (Bivalvia) from the Miocene Bessho Formation in Shiga-mura, Nagano Prefecture, Japan. *Research Report of the Shinshushinmachi Fossil Museum*, **1**, 17-28.
- 小林祐一 (2006), 別所層の黒色泥岩 (頁岩) 日本海拡大による深海堆積物. 日本地方地質誌 **4** 中部地方 (日本地質学会編), 朝倉書店, 東京, 318-319.
- 小坂共栄・緑 鉄洋・保柳康一・久保田正史・宮東靖浩 (1992), 北部フォッサマグナ後期新生代層の層序と古地理の変遷. 地質学論集, **37**, 71-83.
- 小坂共栄・田口泰雄 (1983), 北部フォッサマグナ地域, 別所層からの Argonautinae 化石の発見とその地史学的意義. 地球科学, **37**, 187-193.
- 正谷 清・市村隆三 (1970), フォッサマグナ地域北部の石油地質. 石油技術協会誌, **51**, 1-12.
- 斉藤 豊・熊井久夫・小坂共栄・赤羽貞幸編 (1989), 犀川砂防事務所管内の地形・地質および同地質図, 長野県犀川砂防事務所, 長野県, 43p.
- 佐藤久夫・遠藤忠慶・二階堂 学 (1993), 長野県四賀村赤怒田地域の別所層頁岩中に点在する石灰岩体の同位体地球化学. 三鈹学会連合学術講演会講演要旨, 108.
- Tanaka K. (1959), Molluscan fossils from central Shinano, Nagano Prefecture, Japan (Part 1). *The Journal of the Shinshu University, Faculty of Education*, **8**, 115-131.

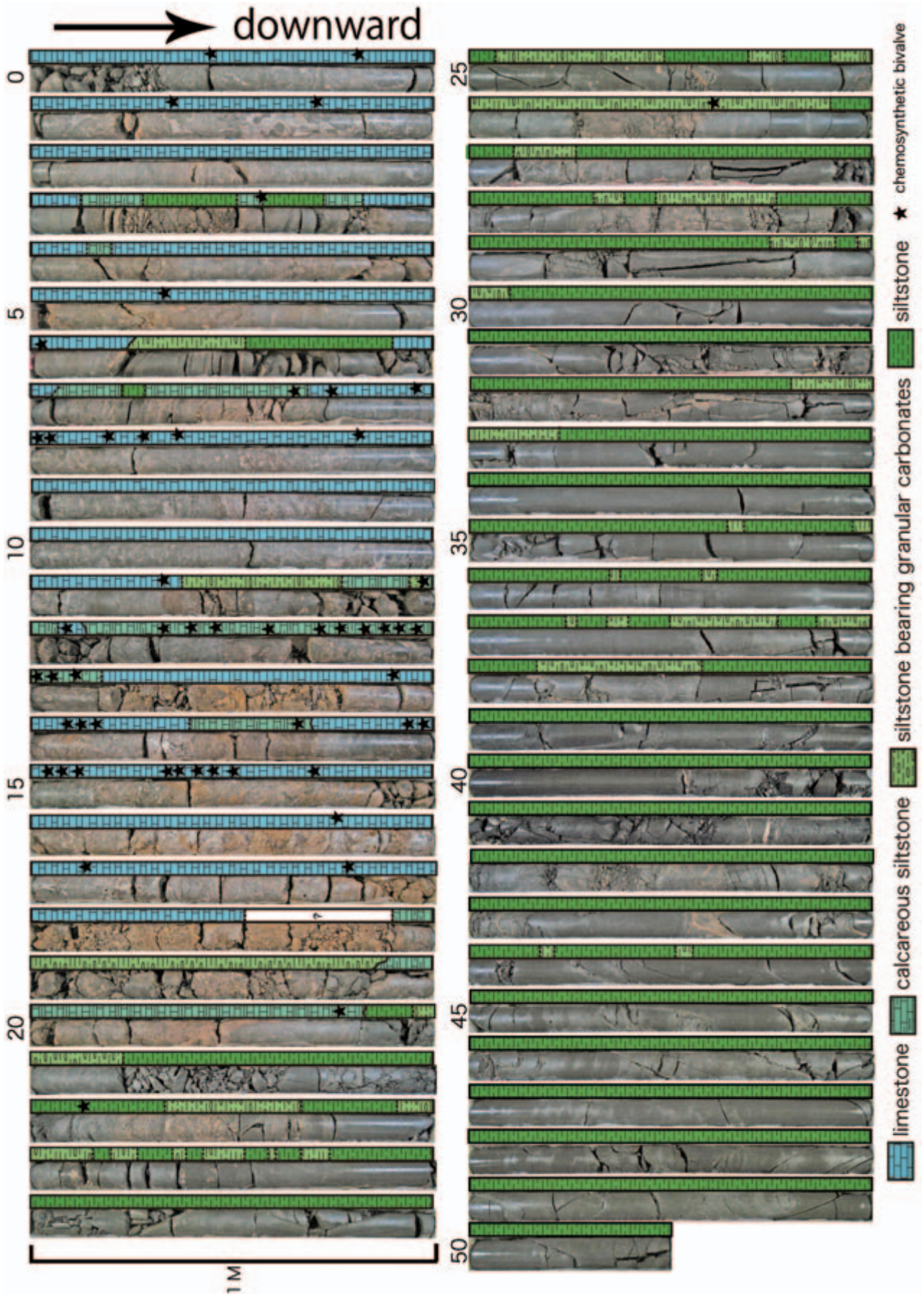
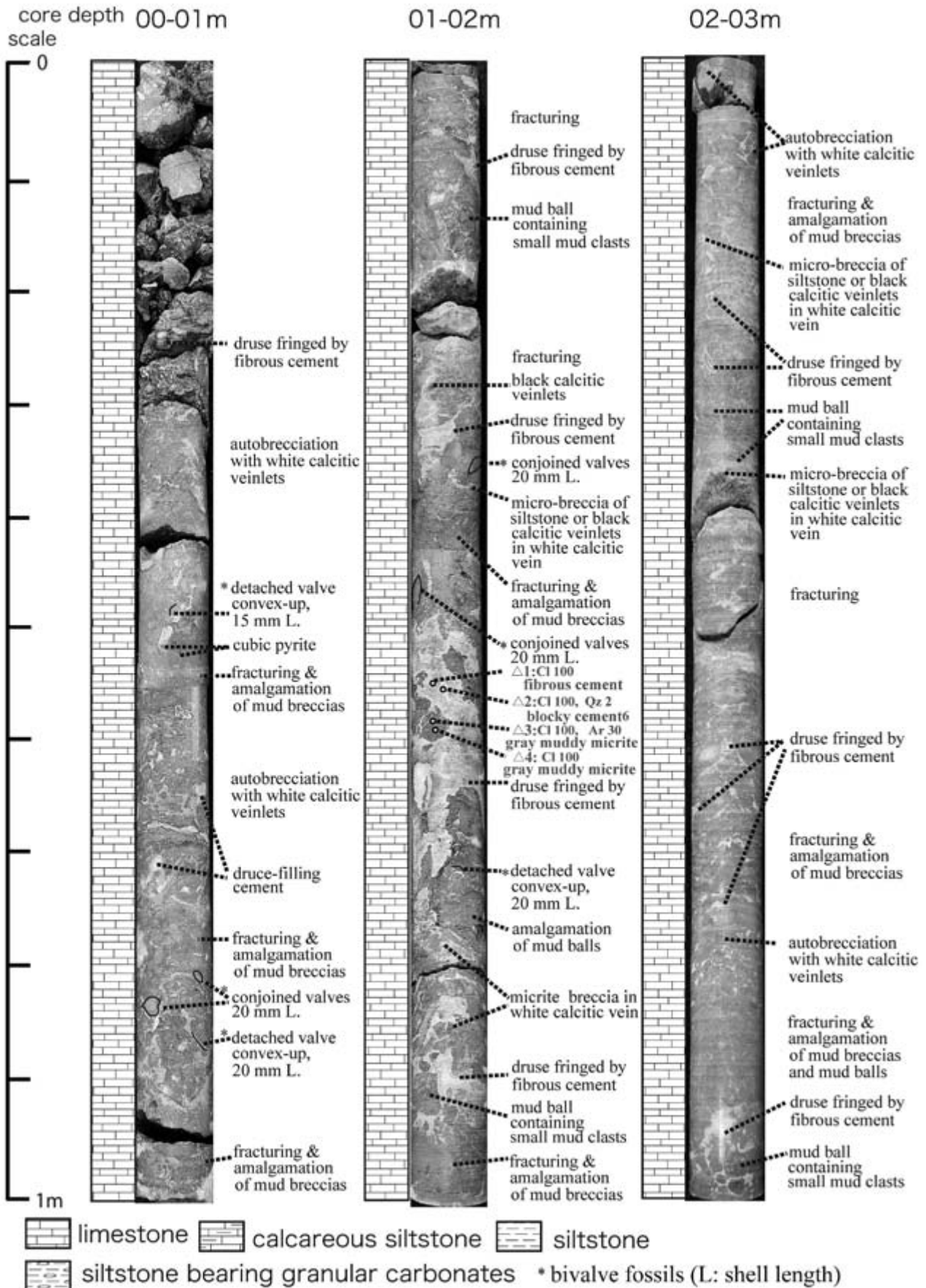
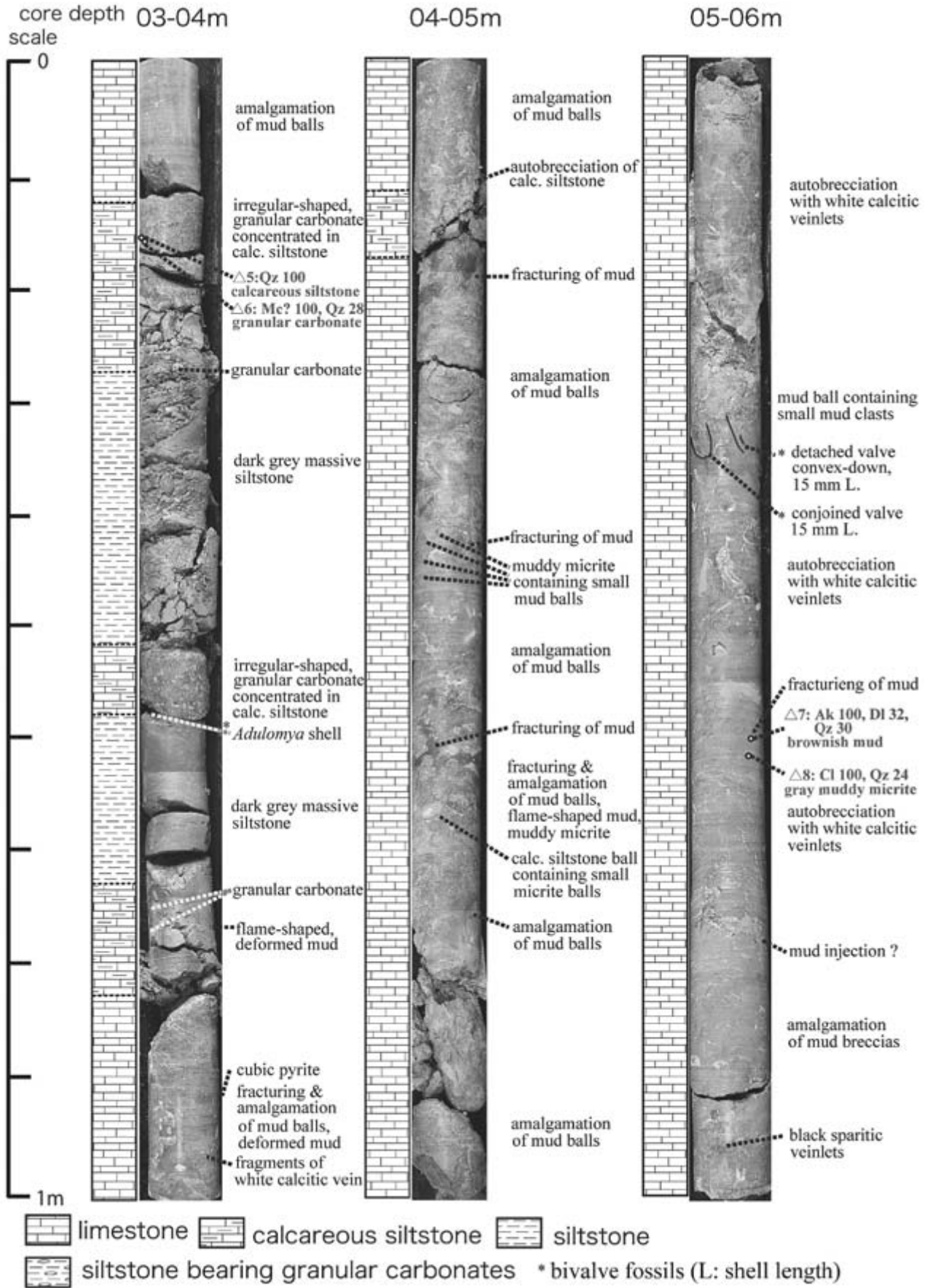


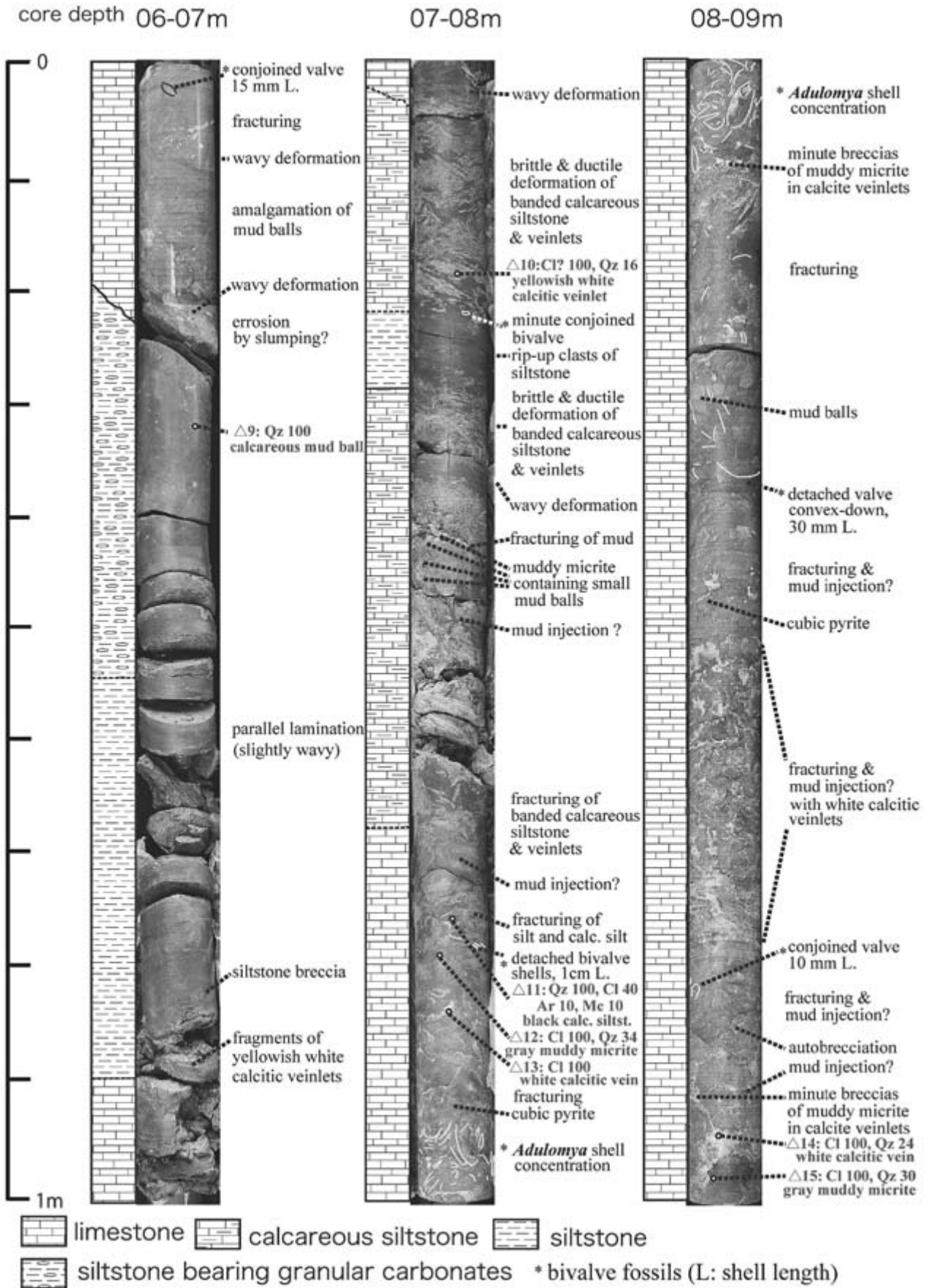
図4 穴沢石灰岩のボーリングコア試料一覧。
Fig. 4 Boring core samples of the Anazawa Limestone.

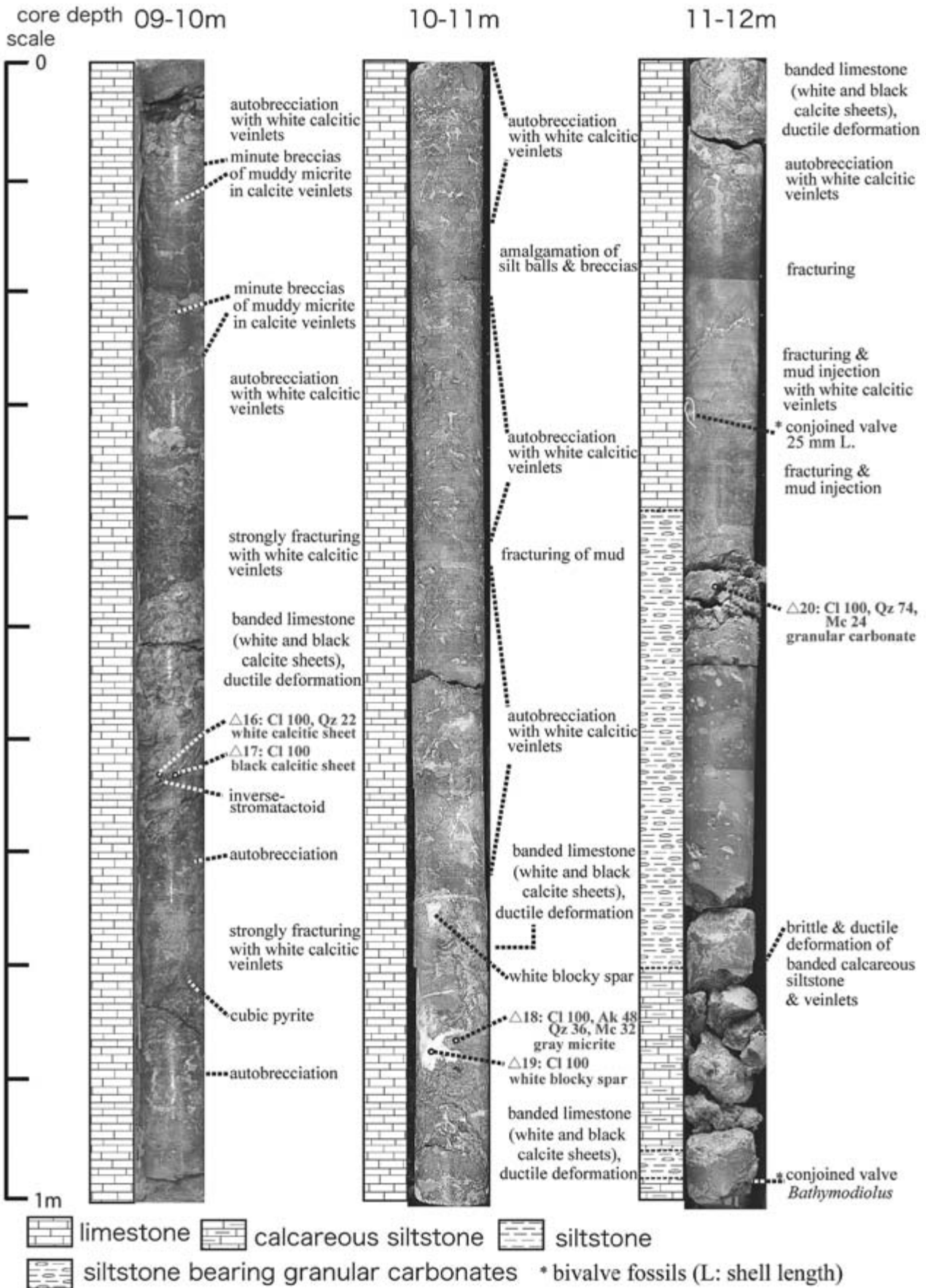


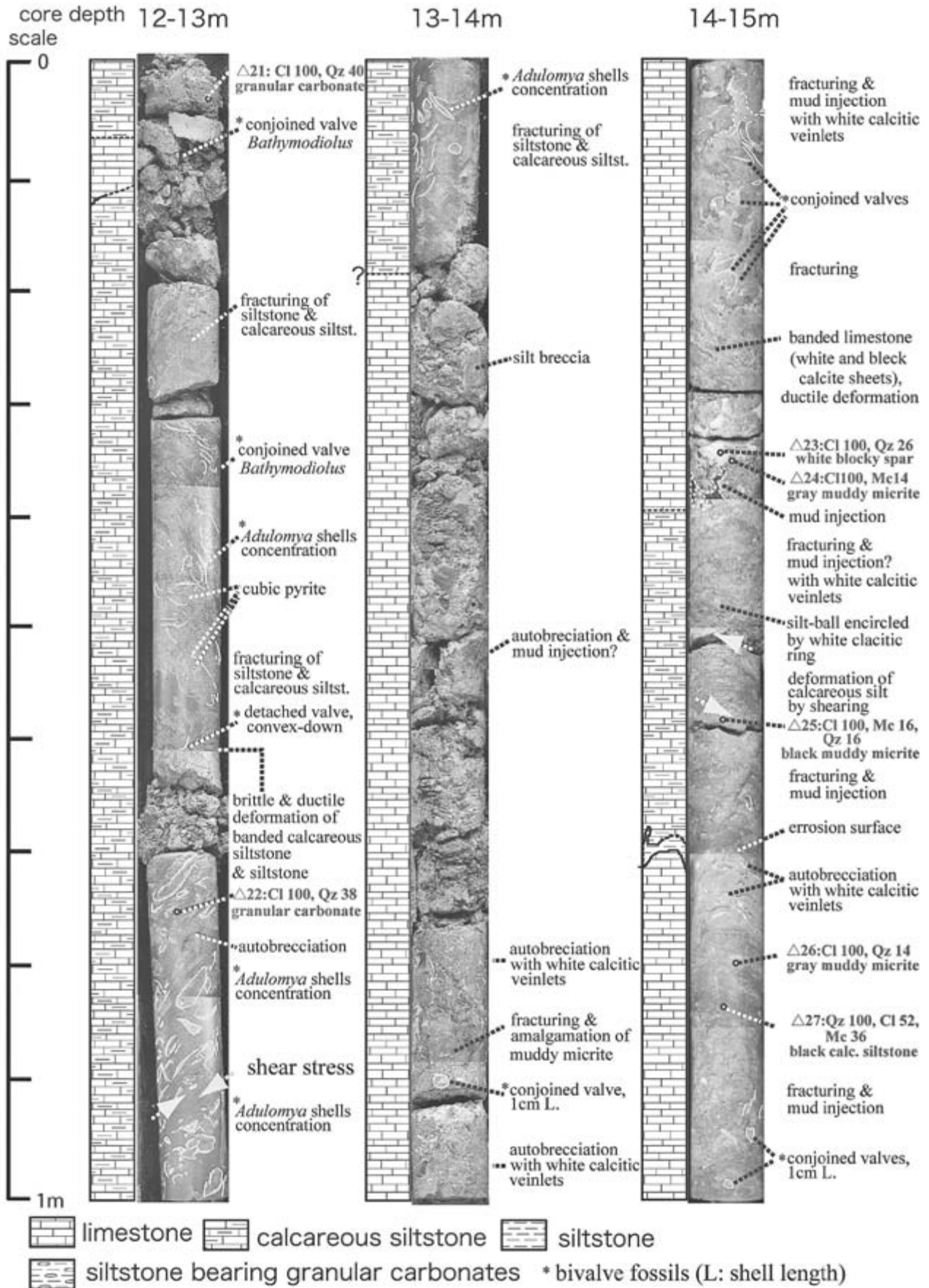
付図1～10 穴沢石灰岩のボーリングコア試料の写真, 岩相記載および貝化石産出状況. △: XRD 分析用粉末試料採取点. XRD 分析結果: Cl (calcite), Mc (magnesian calcite), Ar (aragonite), Dl (dolomite), Ak (ankerite), Qz (quartz). 数字は各鉱物の X 線回折ピークの相対強度.

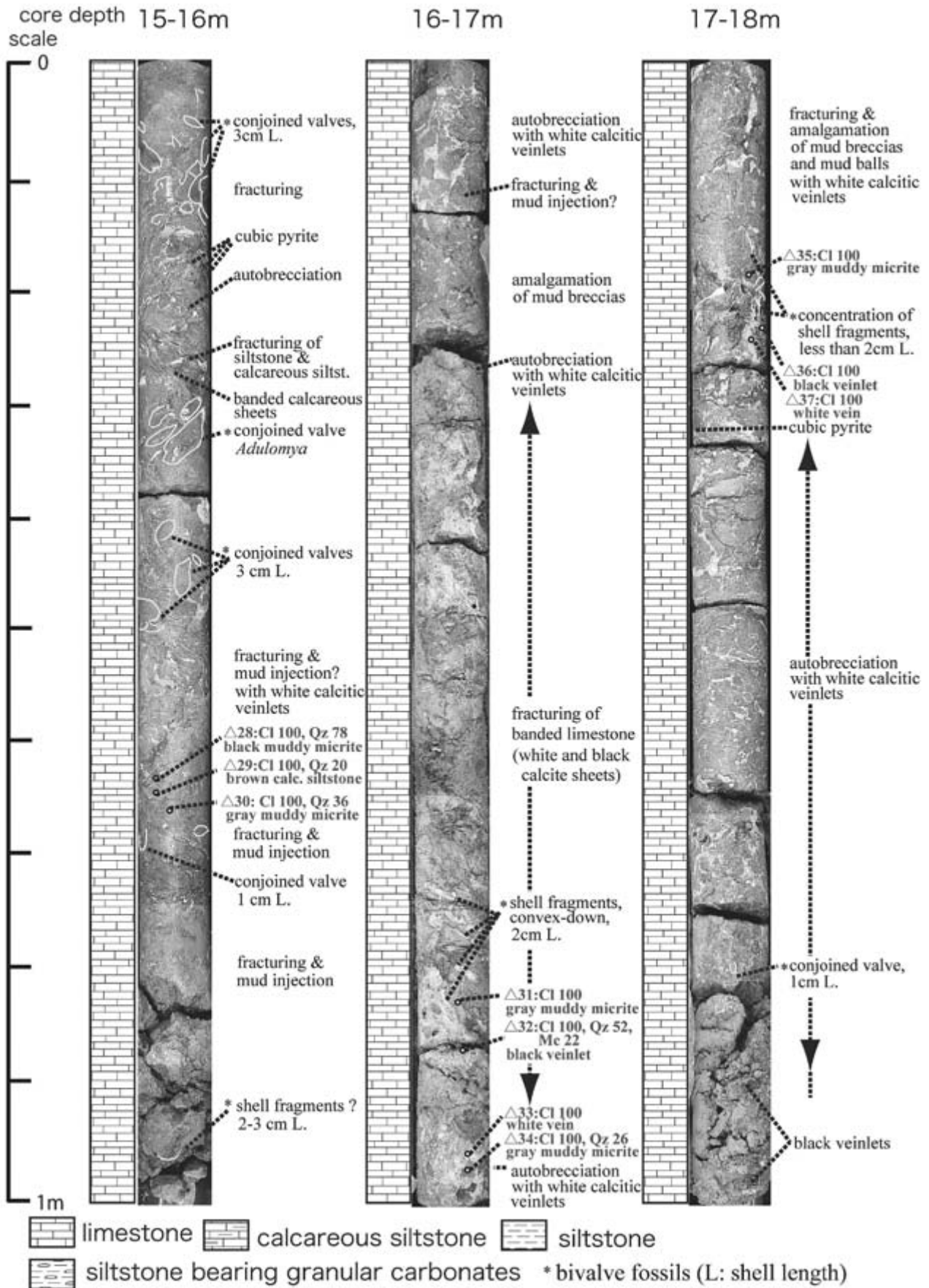
Appendix Figure 1-10 Photographs of the boring core samples of the Anazawa Limestone with description on lithology and occurrence of molluscan fossils. Open triangle: sampling points for XRD analysis. Cl (calcite), Mc (magnesian calcite), Ar (aragonite), Dl (dolomite), Ak (ankerite), Qz (quartz). Numbers show relative diffraction intensity of the minerals.

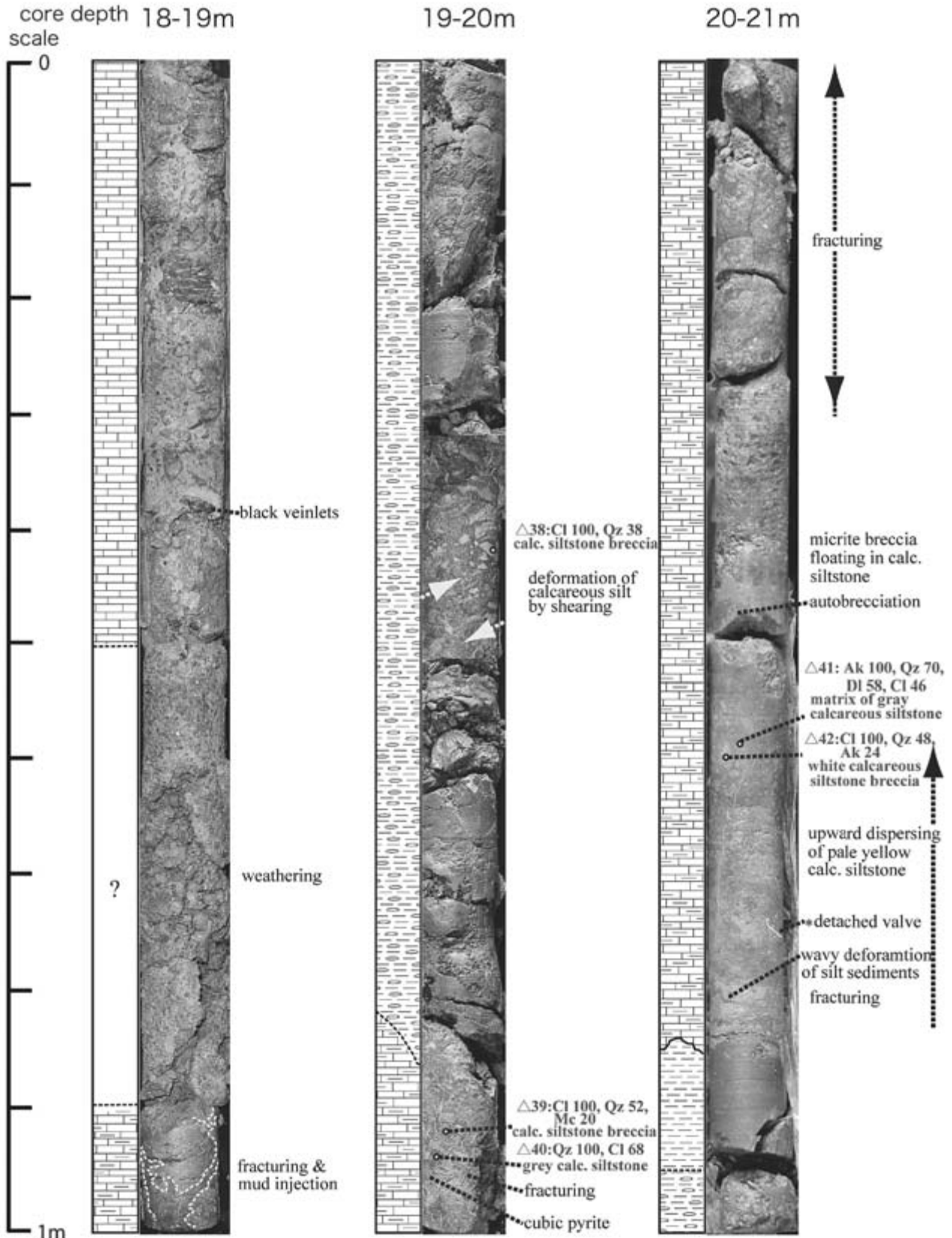












limestone
 calcareous siltstone
 siltstone
 siltstone bearing granular carbonates
 * bivalve fossils (L: shell length)

