IAS 巡検『Microbial carbonate reservoirs architecture: From depositional facies to seismic scale geometries in the Triassic of the Dolomites (Italy)』参加報告

A report on the IAS field trip “Microbial carbonate reservoirs architecture: From depositional facies to seismic scale geometries in the Triassic of the Dolomites (Italy)”

張 天逸^{1*}

Tenichi Cho^{1*}

はじめに

2019年9月に34th IAS Meetings of Sedimentology がイタリア, ローマで開催された。IAS (International Association of Sedimentologists) は約100カ国, 2000名の会員からなる堆積学者を中心とする学会であり, 主な活動として4年に1度の大会議 (International Sedimentological Congress; ISC) が, ISC が開催されない年には小会議 (IAS Meeting of Sedimentology) が開催される。今回報告する巡検『A1 - Microbial carbonate reservoirs architecture: From depositional facies to seismic scale geometries in the Triassic of the Dolomites (Italy)』は, 9月7~9日に行われた学会前巡検の1つである。

本巡検では, 中部~上部三畳系の炭酸塩プラットフォームに関連する様々な堆積構造や岩相を観察し, 炭酸塩プラットフォームの堆積システムや成長様式, または三畳紀当時のテチス海西縁における古気候・古海洋変動についての議論を行った。微生物が構築する炭酸塩プラットフォーム (Microbial carbonate platform) は, 中生代以前の炭素循環

を理解する上で重要であるが, 現世に存在せず, 未解明な点が多い (Preto et al., 2017)。3日間の行程で, Latemar 岩体 (中部三畳系 Anisian - Ladinian), Sella 岩体 (上部三畳系 Carnian), Tofane-Cinque Torri 地域 (上部三畳系 Carnian - Rhaetian) を訪れた (第1図)。以下, 日程順に報告する。

Day 1: Latemar 岩体

集合場所であるベネチアから車で約3時間北上し, ドロミテに到達した。イタリア北部オーストリアとの国境付近に位置するドロミテは, アルプス山脈の一部であり, ユネスコの世界自然遺産に登録されている。ドロミテ (Dolomite) の地名は岩石のドロマイト (Dolomite) と同じく, 18世紀フランスの地質学者 Déodat de Dolomieu に由来する。ロープウェーを使用し Latemar 岩体の麓 (標高約2000m) に到達した。山には雪が積もっており, 9月であったが気温は10℃を下回り, 風速は常時5m/s以上であった。Latemar 岩体は中部三畳系 Anisian - Ladinian の孤立型炭酸塩プラットフォームである (Preto et al., 2017)。現在見られる山岳の形がそのまま, 当時の孤立型プラットフォームの頂部, 斜面を構成する面からなっており, 山麓には比較的深い海での堆積物が見られる (第2図)。参加者はプラットフォームの斜面から山麓の深海相まで歩き, 移り変わっていく岩相を観察した。孤立型プラットフォーム斜面での堆積物はプラットフォーム頂部で生成・沈殿した物質が破碎・運搬されて供給されたものであり, 粗粒砂サイズの生

受付: 2019年12月31日

¹ 早稲田大学創造理工学研究科地球・環境資源理工学専攻
〒169-8050 東京都新宿区西早稲田1-6-1
Department of Earth Sciences, Resources and Environmental Engineering, Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University, 1-6-1 Nishiwaseda, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8050, Japan

* Corresponding author: tianct@fuji.waseda.jp

第1図 本巡検で訪れた岩体の位置。点線囲みはドロミテ地域を示す。イタリア北部、アルプス山脈の一部である。

第2図 Latemar 岩体。Anisian の孤立型炭酸塩プラットフォームであり、山頂の平坦な部分はプラットフォーム内部の堆積相、山の斜面はプラットフォームの斜面の堆積相からなる。山麓には石灰岩やケイ酸塩砕屑物からなるタービダイト相が見られる。

物源炭酸塩粒子で主に構成される。プラットフォーム麓域では、炭酸塩堆積物からなるタービダイトや、遠洋性のケイ酸塩質泥岩が見られた。炭酸塩タービダイト中には、チャート質な層準 (cherty limestone) も見られ、深い水深の堆積場であったことが伺える。一部の層準では火山岩岩脈や火山砕屑岩も見られ、当時の活発な火山活動の存在も示唆された (第3図)。

Day 2: Sella 岩体

気温は初日より低く (正午で2℃)、しばしば降雪に見舞

第3図 Anisian の炭酸塩プラットフォーム堆積物に見られる火山砕屑岩層。礫径1cm程の細長い石灰岩角礫のインプリケーションが所々に見られる (点線囲み)。

われたため、途中カフェでの休憩をはさみながらの巡検となった。この日は、Sella 岩体の炭酸塩プラットフォーム遠望と、プラットフォーム周辺での堆積物の露頭観察を行った (第4図・第5図)。Sella 岩体は主に Day 1 に訪れた Latemar 岩体と同様の孤立型プラットフォーム Cassian Dolomite からなり、堆積した年代は Latemar 岩体よりも若く、上部三畳系 Carnian である (Preto et al., 2017)。孤立型炭酸塩プラットフォームは、縁辺域におけるプログラデーショナルな累重様式によって、生成されたクリノフォームが観察され (第4図)、プラットフォームの頂上領域を拡大するように成長していく。当時の炭酸塩プラットフォームとそれを取り囲む比較的深海で堆積した地層の地質図スケールでの広がりを確認することができ、孤立型炭酸塩プラットフォームの時空間的な進化過程について理解を深めた。また、Sella 岩体の最上部では砕屑岩層の挟在に伴う炭酸塩プラットフォーム (下部 Carnian) の堆積停止と次の世代の炭酸塩プラットフォーム (上部 Carnian) の地層がその上位に累重することを確認した (第4図)。Day 2 巡検終了後、宿で巡検案内者である G. Gattolin 氏と M. Franceschi 氏によるプレゼンテーションが行われ、巡検で訪れた岩体についての最新研究が紹介された。

Day 3: Tofane-Cinque Torri 地域

天気は好転し、巡検最終日は穏やかな天気のもとで行われた。Tofane-Cinque Torri 地域では Sella 岩体と同時期のプラットフォームの Cassian Dolomite (下部 Carnian) とその活動停止、砕屑岩層 (Travenanzes/Heiligkreuz 層) を挟在し

て次の世代のプラットフォームである Dolomia Principale (上部 Carnian) の堆積といった一連の層序を遠望し (第 6 図), Cassian Dolomite と Heiligkreuz 層の境界の露頭観察を行った (第 7 図). 炭酸塩岩が急峻な崖地形を作る一方, Travenanzes/Heiligkreuz 層は緩やかな斜面を形成している. Heiligkreuz 層は Cassian Dolomite の直上に堆積する石灰質～ケイ酸塩碎屑物からなる碎屑岩層である. Cassian Dolomite と比べて暗色であり, 層理が明瞭である. この層が Cassian Dolomite のプラットフォーム地形を充填し, 平坦な海底地形を形成する (Gattolin et al., 2015). Travenanzes 層

第 4 図 Sella 岩体の上部. Sella 岩体は主に下部 Carnian の孤立型炭酸塩プラットフォームである Cassian Dolomite からなり, 写真はその斜面堆積物の露頭. Progradation による層理面 (Clinoform) を点線で示した. 最上部には碎屑岩層の挟在と次の世代の炭酸塩プラットフォーム (上部 Carnian) が見られる. 写真の上から 1/4 に位置する雪に覆われて白く見える層が下部 Carnian と上部 Carnian の境界に見られる碎屑岩層 (Travenanzes / Heiligkreuz 層) である.

は Heiligkreuz 層の上位に堆積するケイ酸塩碎屑物からなる陸成層であり, 大規模な海退を示唆する (Breda and Preto, 2011).

この下部 Carnian と上部 Carnian 境界での炭酸塩プラットフォームの活動停止と碎屑物層の堆積は, Carnian Pluvial Episode (CPE; 例えば, Dal Corso et al., 2018) として知られるグローバルな温暖化イベントとタイミングが一致している. CPE は 100 万年間の間に 4 回の炭素同位体比の負への変化が発生する長期的な環境変動 (温暖化/湿潤化) であり, Wrangellia LIP の間欠的な活動に起因すると考えられている (Dal Corso et al., 2018). パンゲアでの水循環が活発になり, 多くの碎屑物がテチス海の炭酸塩プラットフォームに供給され, 本地域では Heiligkreuz 層を堆積させたとされている (Gattolin et al., 2015). CPE での環境変動がどのようにして炭酸塩プラットフォームの成長停止を引き起こしたのか, その因果関係はまだ明らかではない. 原因として, 長期に及ぶ海洋酸性化, 水質や栄養塩供給量の変化による造礁生物種の変化等が考えられる. また, Heiligkreuz 層の下部には, プラットフォームの成長停止とともに堆積したと考えられているレンズ状の炭酸塩岩体が見られる一方, 大規模な海退による Travenanzes 層の堆積はその後の出来事である. このタイミングの不一致から, 海水準の低下によるプラットフォームの陸上露出は, Cassian Dolomite の成長停止を招いた原因ではないと考えられている (Gattolin et al., 2015). 巡検終了後, 一行は Day1 の集合場所であったベネチアまで車で戻り, 高速鉄道を用いて学会会場であるローマまで移動した.

第 5 図 Sella 岩体を構成する下部 Carnian の孤立型プラットフォームの麓に位置する比較的深海の堆積場に見られたタービダイト相 (San Cassiano 層). 炭酸塩岩が見られず, ケイ酸塩碎屑物の砂岩泥岩互層からなり泥岩層は非常に細粒であることから, 供給源は炭酸塩プラットフォームではなく陸域であると考えられる. 9 月初旬, 雪が降る中での巡検となった.

第6図 Tofana 山. 写真中央やや下のなだらかな斜面を作っている層が、下部 Carnian と上部 Carnian の境界に見られる碎屑岩層（Travenanzes / Heiligkreuz 層）である。下部 Carnian 炭酸塩プラットフォーム（Cassian Dolomite）の地形を完全にならして、Heiligkreuz 層が堆積している。Travenanzes 層の上位には上部 Carnian の炭酸塩プラットフォーム（Dolomia Principale）が堆積する。

第7図 下部 Carnian の炭酸塩プラットフォームの最上部の Cassian Dolomite と Heiligkreuz Fm. の境界。ここでの Cassian Dolomite は炭酸塩プラットフォーム内部の周潮汐帯（peritidal）の堆積相である。Heiligkreuz 層はここでは石灰質な碎屑岩からなり、層厚がサイクリックに変化する。挟在する赤味を帯びた層は、離水相であると解釈される。

ま と め

本巡検では北イタリアドロミテにおいて中部～上部三畳系炭酸塩プラットフォームからなる岩体の観察を通して、炭酸塩プラットフォームの堆積様式とそれを促進/停止させる古環境の変遷について理解を深めることができた。Day 1, Day 2 は理想的ではない天候により予定していたルートの取り消しが相次いだ。巡検案内者らの臨機応変な対応により、予定に含まれていなかった地点も加えて、多くの露頭を訪れることができた。この炭酸塩プラットフォーム研究の歴史的なフィールドにおいて、複数の時代における様々な岩相を観察し、最新の研究成果に触れることができたことは、非常に貴重な経験となった。Carnian Pluvial Episode は本地域の炭酸塩プラットフォームの成長停止によって初めて認識された環境変動であり、地球化学データの解像度向上や他地域との対比など、今後の研究の進展が期待される。本巡検で訪れた地域は堆積学研究第 77 巻 1 号の表紙とカバーストーリー (Onoue and Rigo, 2018) に美しいカラー写真が掲載されているので合わせて参照されたい。

謝辞：G. Gattolin 氏 (Eni Upstream and Technical Services), M. Franceschi 氏 (University of Padova), P. Gianolla 氏 (University of Ferrara) は本巡検をコーディネートしていただいたのみならず、フィールドや宿においても様々な議論をさせていただいた。松田博貴氏 (熊本大学) には本原稿執筆の機会を与えていただいた。太田亨氏 (早稲田大学)

には、本原稿の執筆を含め、日々の研究生活でのご指導をいただいた。以上の方々に深く感謝を申し上げる。

文 献

- Breda, A. and Preto, N., 2011, Anatomy of an Upper Triassic continental to marginal-marine system: the mixed siliciclastic-carbonate Travenanzes Formation (Dolomites, Northern Italy). *Sedimentology*, **58**, 1613–1647.
- Dal Corso, J., Gianolla, P., Rigo, M., Franceschi, M., Roghi, R., Mietto, P., Manfrin, S., Raucsik, B., Budai, T., Jenkyns, H.C., Reymond, C.E., Caggiati, M., Gattolin, G., Breda, A., Merico, A. and Preto, N., 2018, Multiple negative carbon-isotope excursions during the Carnian Pluvial Episode (Late Triassic). *Earth-Science Reviews*, **185**, 732–750.
- Gattolin, G., Preto, N., Breda, A., Franceschi, M., Isotton, M. and Gianolla, P., 2015, Sequence stratigraphy after the demise of a high-relief carbonate platform (Carnian of the Dolomites): sea-level and climate disentangled. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **423**, 1–17.
- Preto, N., Gianolla, P., Franceschi, M., Gattolin, G. and Riva, A., 2017, Geometry and evolution of Triassic high-relief, isolated microbial platforms in the Dolomites, Italy: The Anisian Latemar and Carnian Sella platforms compared. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **101**, 475–483.
- Onoue T. and Rigo M., 2018, Two humid events recorded in the Upper Triassic of the Dolomites, northern Italy. *Journal of the Sedimentological Society of Japan*, **77**, 2.