

コロラド高原の地質層序

— コロラド高原西縁部中生界 —

谷口 英嗣・齋藤 洋輔*

はじめに

北アメリカ大陸の太平洋側には、ロッキー山脈をはじめとする構造体が南北方向に帯状に分布している（図1）。このうち内陸側に位置するコロラド高原（Colorado Plateau）は、先カンブリア基盤の上にほぼ水平に堆積した古生層、中生層が、第三紀に隆起して、現在では海拔 1,500 m を超える高原を形成したものである。この高原の周囲は白亜紀以降の地殻変動により複雑な変形を受けたり、新たな火成活動によって地層が覆い被されたりしているが、この高原の主体をなす古生代後期（ペルム紀～）以降の地層は一部不整合によって切られている部分があるものの、ほぼ連続的に観察することが出来る。

またこれらの地層のいくつかについては詳細な地質記載が行なわれ、堆積当時の環境が復元されている。本研究では最近示されたコロラド高原西縁部に位置するザイオン国立公園（Zion National Park；以下、Zion N. P. と記す）とグランドステアケース・エスカランテ国立公園（Grand Staircase-Escalante National Monument；以下、GS-E N. M. と記す）に分布する中生界の連続する地質記載を元に、それらの地層の堆積当時の環境を両地域で比較検討し、コロラド高原や北アメリカ大陸南西部における堆積場の復元を試みる。そして Blackey and Ranney (2008) による北アメリカ大陸南西部の古地理との対比をする。

地質概説

現在のアメリカ南西部における地形は、それぞれの地質を大きく反映している。大きく区分すると、太平洋側の Pacific Mountain System の山脈地帯、その東側にはコロンビア高原（Columbia Plateau）と Basin and Range province、さらに東側には海拔 4,000 m を超えるロッキー山脈（Rocky Mountain）が、南北に帯状に配列している。そして Basin and Range province

* 茗溪学園高等学校

と Rocky Mountain の間には、本研究の対象であるコロラド高原（Colorado Plateau）が位置している（図1）。

それらの構造体の形成は、ジュラ紀～新生代中期にかけてのコルディレラ造山運動（Cordillera orogeny）によるものである。当時北アメリカ大陸が位置していたパンゲア超大陸やその後のローラシア大陸では、ファラロンプレート（Farallon Plate）が西側から沈み込み、これにより造山運動が盛んに起こったと考えられている。

ロッキー山脈は、北はカナダ・ブリティッシュコロンビア州から、南はアメリカ・ニューメキシコ州まで南北方向に連なる長さ 4,800 km の山系で、コルディレラ造山帯の東縁に位置している。先カンブリア紀～古生代の堆積岩や変成岩、火成岩が造山運動により隆起して形成された山脈地帯である。これらは白亜紀ころの造山活動（ララミー造山運動；Laramide orogeny）により山脈内の褶曲・断層などの変形が盛んに形成され、第三紀以降の造山運動により地形的に著し

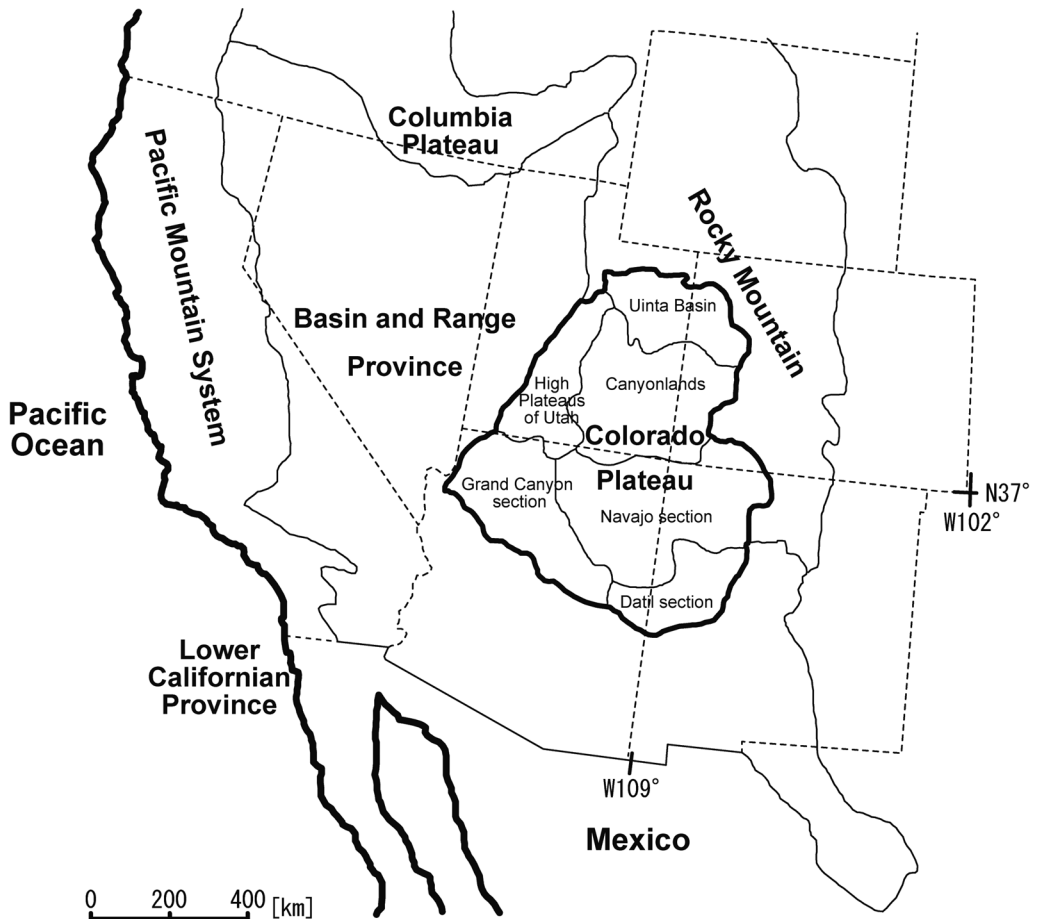


図1 アメリカ南西部における地質構造区分図

原図は USGS, [a] による。破線は州境界。

く隆起したと考えられている。Basin and Range province は、ほぼ南北に走る無数の正断層により区切られた山脈 (Range) とその間を埋める地溝 (Basin) が連続する地域である。この構造はファラロプレートの活動後、東西方向の張力場となった背弧側の盆地が拡大し、生じたものである。太平洋側に位置する Pacific Mountain System は、中生代から新生代の堆積岩、変成岩、火成岩が隆起した海岸山脈 (Coast Range)、中生代の花崗岩が隆起したシエラネバダ山脈 (Sierra Nevada)、火山地帯であるカスケード山脈 (Cascade) などから成る。主な活動時期は、第三紀以降と新しいものの、これらもコルディレラ造山帯の西縁部を構成している。

そしてコロラド高原は、コロラド州、ニューメキシコ州、ユタ州、アリゾナ州にまたがる海拔 1,500 m を超える高原であり、わずかに北傾斜した古生層や中生層が、造山運動により隆起したものである。周囲の構造区は造山活動により大きく変形を受けたのに対し、コロラド高原は安定地塊で変形構造はあまり見られない。コロラド高原では第三紀以前はほぼ水平に海成層や風成層が形成されたが、第三紀以降のララミー造山運動後は主に侵食の時代で、その結果、グランドキャニオン国立公園やザイオン国立公園、ブライスカニオン国立公園などで見られるような侵食地形が形成され、第三紀以前の地層を現在観察することができる。

Grand Staircase-Escalante N. M. 層序記載

ここでは GS-E N. M. とその周辺で見られる地層の記載をまとめる。記載の多くは Doelling and Willis (1999) によるものである。なお GS-E N. M. の位置は図 2 にて、GS-E N. M. や周辺の地域の地質は図 3 にて示す。

Kaiparowits Formation (白亜系上部)

砂岩、泥岩からなる。砂岩はもろく、緑色～灰褐色で、極細粒～細粒砂からなる。数枚の灰色の薄い泥岩層や、褐色の細粒～中粒砂のレンズ状砂岩を挟むことがあり、恐竜の骨や淡水域の軟体動物化石も見られることがある。北に向かって薄くなり、下部は Wahweap Formation に整合で重なるが、漸移的である。層厚は 350～900 m。

Wahweap Formation (白亜系上部)

Upper Member (白亜系上部)

砂岩からなる。砂岩は褐色～白色で、中粒～粗粒砂からなり、塊状であるが、斜交層理が見られ、上方に向け級化している。層厚は 75～150 m。

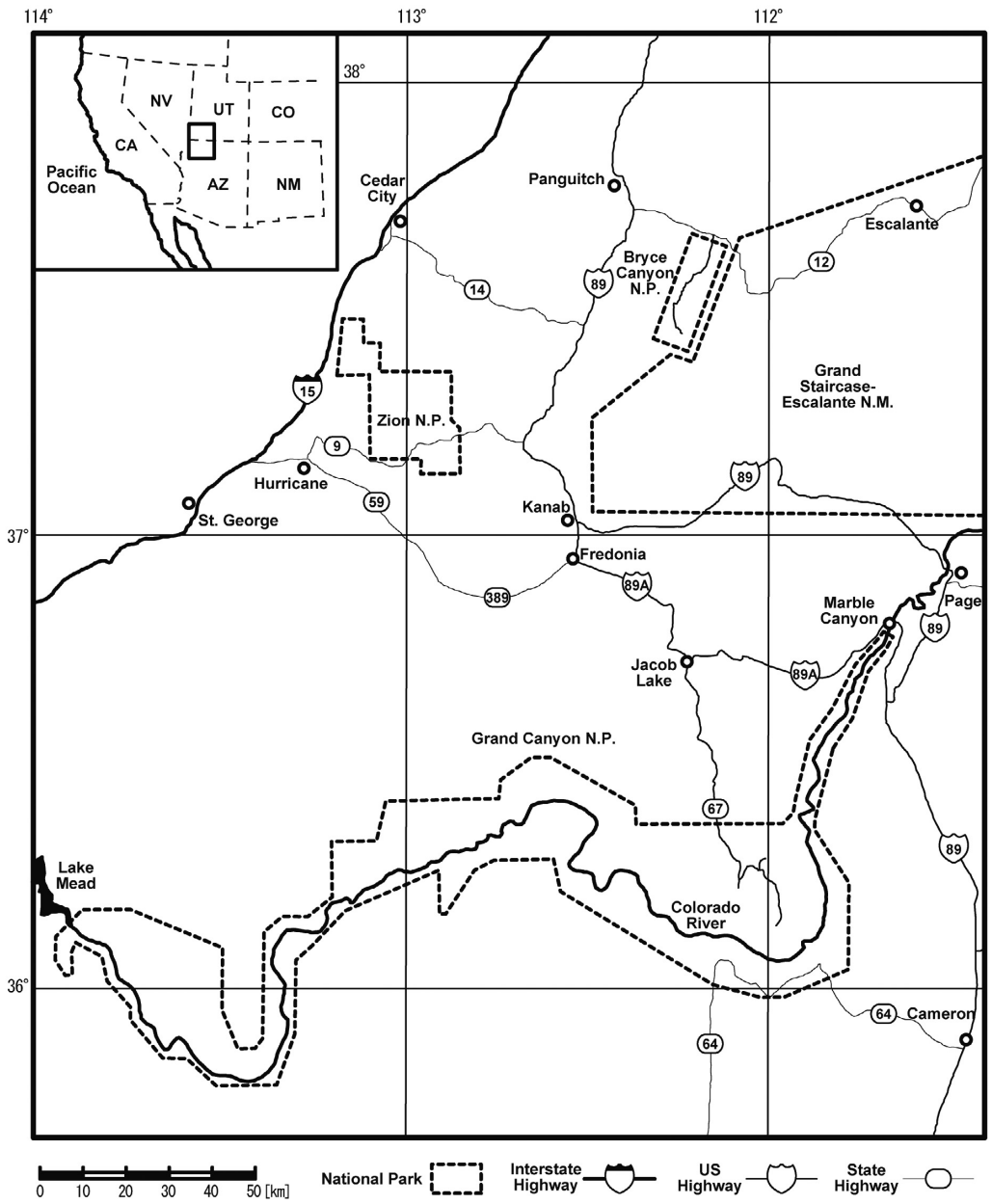


図2 コロラド高原西縁部 Zion N. P., Grand Staircase-Escalante N. M. 周辺の位置図

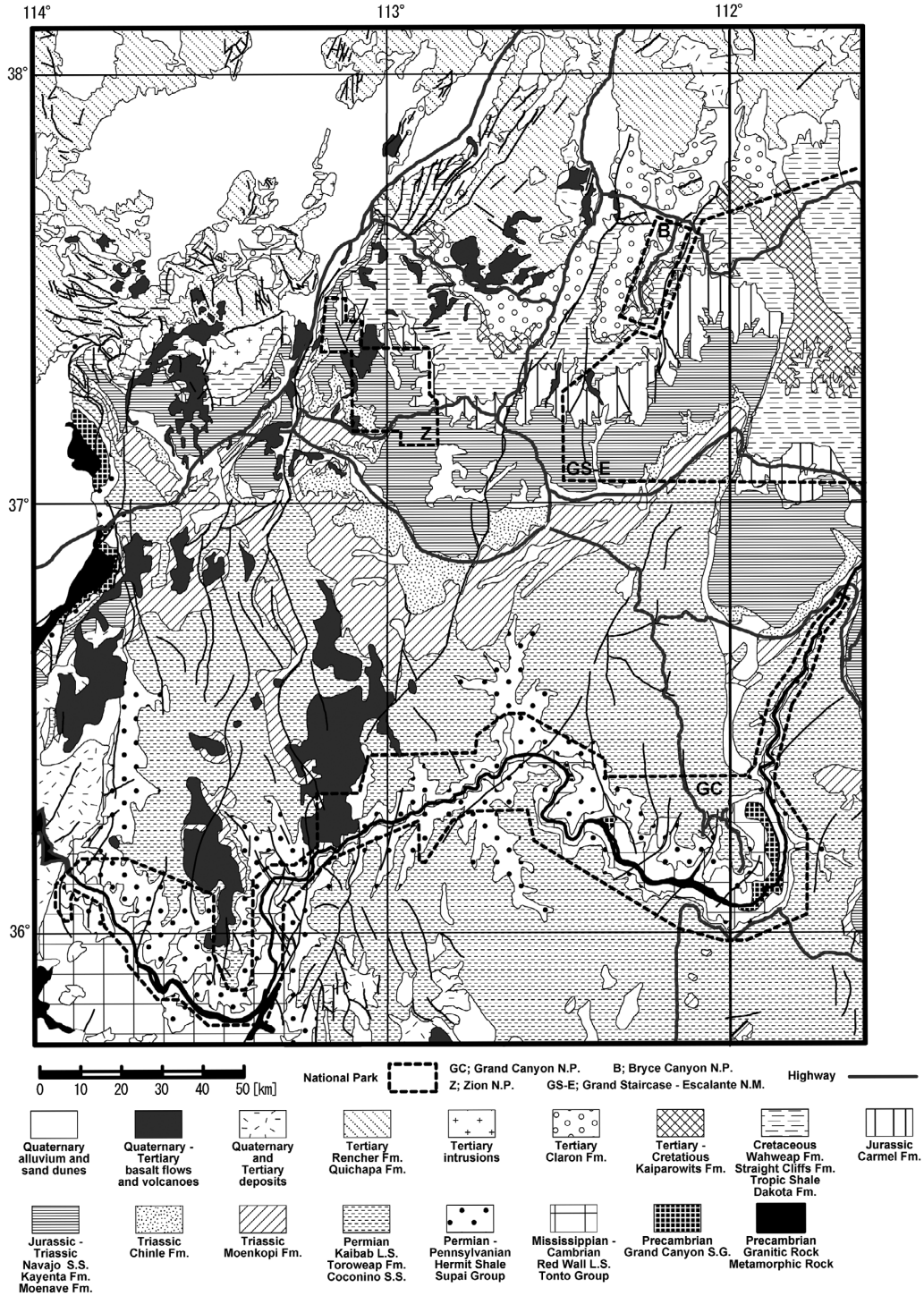


図3 コロラド高原西縁部 Zion N.P., Grand Staircase-Escalante N.M. 周辺の地質図

Hintze (1997), Kimilli and Richard (1998) に一部加筆。

Lower Member (白亜系上部)

砂岩、泥岩からなる。砂岩は褐色で、細粒～中粒砂からなり、斜交層理やレンズ状層理が見られる。緑灰色～褐色の泥岩を挟むことがある。下部は Straight Cliffs Formation に整合で重なっている。層厚は 200～300 m。

Straight Cliffs Formation (白亜系上部)**Drip Tank Member (白亜系上部)**

砂岩からなる。砂岩は灰橙色～淡灰色～白色で、中粒～粗粒砂からなり、局所的には礫岩質である。塊状で、斜交層理も見られる。基底層は海浜砂由来の砂岩である。層厚は 60～120 m。

John Henry Member (白亜系上部)

泥岩、砂岩からなる。暗灰色～黒色の炭素質泥岩や石炭層に、黄色～灰色の砂岩や緑灰色～褐色の泥岩を挟んでいる。基底層には中礫の礫岩の薄いレンズが、下部の砂岩のレンズにはイノセラムスの殻の破片が含まれる。下位の Smoky Hollow Member の上に不整合で重なっている。層厚は 200～300 m。

Smoky Hollow Member (白亜系上部)

砂岩からなる。この部層は白色の砂岩からなり、砂粒の粒径は粗粒で、中粒砂～礫である。塊状で、斜交層理も見られる。泥岩や炭素質泥岩、数枚の大変薄い石炭層も挟む。層厚は 30～90 m。

Tibbet Canyon Member (白亜系上部)

砂岩からなる。砂岩は褐色で、細粒砂からなり、一部、斜交層理が見られ、海成層である。また Tibbet Canyon Member は、Smoky Hollow Member の下位に位置するが、下位の Tropic Shale とは指交関係にある。層厚は 25～50 m。

Tropic Shale (白亜系上部)

灰色の海成の頁岩からなる。上部 30 m には黄灰色～褐色で、細粒～極細粒の薄い砂岩層が挟まれる。また基底部付近にはベントナイトや化石の見られる石灰岩のコンクリーションも見られる。層厚は 180～270 m。

Dakota Formation (白亜系上部～下部)

砂岩、頁岩からなる。化石の見られる灰色～褐色の砂岩層の上部に、緑灰色の頁岩を挟む。Dakota Formation 中部に石炭層を挟むことがあるが、石炭層の多くは薄層である。下部には、

黒色の炭素質泥岩や灰色の頁岩・シルト岩，灰色～白色の粗粒砂岩の層を挟む。基底部には礫岩層を含むことがある。礫質河川が広がっており，その堆積物が不整合の上ののったものである。層厚は一部 25～100 m と厚くなるが，多くの部分の層厚は 25～60 m。

Morrison Formation (白亜系下部～ジュラ系上部)

Brushy Basin Member, Salt Wash Member, Tidwell Member からなるが，非常に薄い。

Brushy Basin Member は主に泥岩からなり，砂岩や礫岩も一部見られる。層厚は 0～90 m。不整合により西方に向かって層厚は薄くなる。

その下位に位置する Salt Wash Member は灰色～黄灰色，中粒～粗粒砂砂岩と礫岩からなる。礫岩は赤色，黒色，灰色のチャートの中～大礫や，珪化木，コーツァイトを含む。赤色や緑色のシルト岩の薄層を数枚挟み，基底部のチャンネルにたまった砂岩にはウランやバナジウムの成分を多く含むところもある。層厚は 0～140 m。層厚は不規則的に変化する。

さらに下位の Tidwell Member は，灰色の細粒砂の炭素質砂岩と，赤色～緑色の頁岩の互層からなる。層厚は 0～50 m。不整合により西方に向かって層厚は厚くなる。

Entrada Sandstone (ジュラ系中部)

Escalante Member (ジュラ系中部)

白色～灰色～黄褐色で，細粒～粗粒砂砂岩からなる。塊状や高角の斜交層理が見られる。層厚は 25～125 m。

Cannonville Member (ジュラ系中部)

赤褐色に灰色のバンドが入った，シルト岩～砂岩からなる。層厚は 60～130 m。

Gunsight Butte Member (ジュラ系中部)

赤褐色で細粒の砂岩と，風化しやすいシルト質砂岩からなる。砂岩層には斜交層理が見られる。層厚は 50～110 m。

Carmel Formation (ジュラ系中部)

Winsor Member (ジュラ系中部)

赤褐色シルト岩，黄褐色細粒砂砂岩と石膏からなる。層厚は 15～45 m。

Paria River Member (ジュラ系中部)

赤色の泥岩と砂岩からなり，白色～ピンク色の薄い風化した石灰岩が重なっている。層厚は

45～120 m。

Page Sandstone (Thousand Pockets Tongue, Harris Wash Tongue) and Judd Hollow Tongue (ジュラ系中部)

Thousand Pockets Tongue は灰橙色，細粒～中粒砂砂岩からなり，斜交層理も見られる。層厚は 0～25 m。

Judd Hollow Tongue は赤褐色シルト岩・泥岩，細粒砂で淘汰の良い砂岩，灰色の石灰岩の薄層からなる。層厚は 0～35 m。南東方向に向け尖滅していく。

Harris Wash Tongue は灰橙色の細粒砂砂岩からなり，斜交層理が見られる。Navajo Sandstone の上に不整合で重なり，基底部にはチャート礫が見られることがある。層厚は 3～35 m。

Navajo Sandstone (ジュラ系下部)

砂岩からなる。砂岩は灰橙色，白色，灰色，ピンク色で，細粒～中粒砂からなる。下部 30 m には平行層理が見られるが，大規模で大変厚い斜交層理が広がっている。また特徴としては，崖をつくって露出している。層厚は 170～520 m。西方に向かって層厚は厚くなる。

Kayenta Formation (ジュラ系下部)

砂岩，シルト岩，頁岩，石灰岩，礫岩からなる。灰赤色～暗赤色の薄層～厚層の砂岩に，わずかに暗赤色のシルト岩・頁岩，明黄色の石灰岩，礫岩の層を挟む。最上部にはピンク色の砂岩の風成層があり，大規模な斜交層理が見られる。層厚は 60～110 m。

Wingate Sandstone (ジュラ系下部)

砂岩からなる。砂岩は橙赤色～赤褐色で，細粒砂からなり，淘汰も良い。大規模な斜交層理が広がっており，塊状の部分も見られる。また垂直な崖をつくっている。下部は白色～灰色。下位の Chinle Formation とは不整合的に重なっている。Chinle Formation には急に岩相が変化しているが，一部似た色合いで，下部が平行層理の砂岩層のことがある。層厚は 60～120 m。

Chinle Formation (三畳系上部)

Upper Member (三畳系上部)

Church Rock Member, Owl Rock Member, Petrified Forest Member, Monitor Butte Member からなる。

Church Rock Member は褐色～赤褐色の砂岩・シルト岩からなり，砂岩は細粒～中粒砂からなる。層厚は 0～7.5 m。

Owl Rock Member は赤色，褐色，緑灰色の砂岩と，緑色，淡灰色のシルト質石灰岩からなり，粘土鉱物を含まない泥岩が見られる。層厚は 45～75 m。

Petrified Forest Member は粘土鉱物を含む泥岩と，一部砂岩と礫岩が見られる。珪化木が産出する。層厚は 45～110 m。

Monitor Butte Member は緑色，灰色のベントナイト，粘土鉱物を含む泥岩，石灰岩礫を含んだ礫岩，雲母を含む砂岩からなる。層厚は 30～60 m。

Shinarump Conglomerate Member (三畳系上部)

砂岩と礫岩からなる。砂岩は白色～淡灰色で，細粒～中粒砂からなり，斜交層理が見られ，一部礫岩層を含む。基底部には木炭などが見られる。一番厚い河道の堆積物には，ウラン，銅，鉛，銀，コバルトなどの成分を含む鉱物がある。層厚は 0～30 m。

Moenkopi Formation (三畳系中部～下部)

Moody Canyon Member, Torrey Member, Sinbad Member, Black Dragon Member からなる。Sinbad Member は Kaiparowits Basin では Timpoweap Member に相当する。

Moody Canyon Member は赤褐色の泥岩，黄灰色の砂岩，ドロマイトからなる。層厚は 60～100 m。

Torrey Member は淡黄色～暗灰色の砂岩，シルト岩からなる。石油やアスファルトが飽和している。層厚は 75～95 m。

Sinbad Member は，褐色，黄橙色で魚卵岩質含化石ドロマイトと，礫質ドロマイト質砂岩からなる。層厚は 0～17 m。

Black Dragon Member は，白色～淡灰色で，細粒砂のドロマイト質砂岩から砂質ドロマイトからなる。これらは白色チャートの破片を含んでいる。層厚は 0～12 m。

どの部層も層厚は北西方向に向かって厚くなる傾向があり，Moenkopi Formation 全体でも東部で 90 m，西部で 290 m で西方に向けて厚くなる。

Kaibab Limestone (ペルム系下部)

淡黄色の魚卵岩質ドロマイトの薄層や，細粒砂，白色の炭素質シルト岩の薄層からなる。上部にはチャート層も見られる。層厚 0～60 m。北方に向けて層厚は厚くなる。

White Rim Sandstone (ペルム系下部)

ドロマイト質砂岩の薄層～厚層が，白色砂岩層の上に重なっている。砂岩は細粒砂からなり，斜交層理が見られる。

コロラド高原における堆積場の復元

ここでは Zion N. P. と GS-E N. M. での層序の対比が可能な中生界を対象にして、Doelling and Willis (1999) による GS-E N. M. の記載と、Biek *et al.* (2007) による Zion N. P. の記載をもとにして、時代の推移とともにコロラド高原西縁部を中心に堆積場の復元を行う。そして、それらを Blackey and Ranney (2008) によって示された本高原の古地理と比較、検討する。なお GS-E N. M. の記載をまとめたものを図 4 に、Zion N. P. の記載をまとめたものを図 5 に示す。

三畳紀 前期—中期 Moenkopi Formation

Zion N. P. ではシルト岩・泥岩が中心であり、全般的に粒度の細かい堆積岩からなる。また、シルト岩層ではラミナが見られることもあり、ウミユリ化石などを含む石灰岩層も狭在する。また部層によっては石膏やドロマイトも見られることがある。GS-E N. M. では細粒の堆積物に加え、魚卵岩やドロマイト、礫質砂岩も見られるが、石灰岩はあまり見られない。

以上より、Zion N. P. は潮間帯～浅海、GS-E N. M. は潮間帯～ごく浅海であったと考えられる (図 6-1(a))。GS-E N. M. において魚卵岩が見られることから、ごく浅海における塩分の濃縮が、また GS-E N. M. にドロマイトや礫質砂岩が見られることから、Zion N. P. 周辺より GS-E N. M. 地域の方が当時の流路の上流域に存在していたと考えられる。ただし、Zion N. P. においては、部層により浅海域を示す層相になったり、沿岸付近を示すものになったりしており、地殻変動や海面変動に伴い、海岸線が前進・後退を繰り返している様子が伺える。そして Sinbad Member では魚卵岩質の岩相も見られることから、北から海が湾入して GS-E N. M. 近くまで海岸線が到達したと考えられる。また、堆積物は東から西に移動した事を示しており、堆積物の後背地をコロラド州、ニューメキシコ州に位置するロッキー山脈とする Chronic and Chronic (2004) とも調和的である。Zion N. P. における Rock Canyon Conglomerate Member では中礫～大礫を含む礫岩層が見られることから、Zion N. P. の堆積場がロッキー山脈により近かったとも考えられる。

Blackey and Ranney (2008) による古地理の復元と比較すると、コロラド高原東側に位置する高地や海岸線の東側部分の形・位置については調和的である。ただし海岸線の西側部分や本高原西側の高地については、本研究段階のデータからは明らかではない。

三畳紀 後期 Chinle Formation

Zion N. P., GS-E N. M. とともに、上部は砂岩・泥岩、下部は礫岩・含礫砂岩が中心である。ま

た珪化木を多く産出する。下部では斜交層理が見られる。

以上より、Zion N. P., GS-E N. M. 上部は氾濫原や湖など、下部は網状河川であったと考えられる (図 6-1(b))。Stewart *et al.* (1972a) によると、堆積物の後背地はアリゾナ州中央の高地であり、堆積物は南から北に向かって移動する (図 6-1(b) 中☆付き矢印)。粒度変化からも Moenkopi Formation とは後背地や流路が大きく変化したことが分かる。最下部の Shinarump Conglomerate Member には、木炭やマグマ起源の鉱物などが見られ、上部の Upper Member にも火山灰起源と考えられる粘土鉱物が広く分布しているため、当時の火山弧の活動が示唆される。

Blackey and Ranney (2008) による古地理の復元と比較すると、古流向やコロラド高原東側・南側に位置する高地の位置については調和的である。ただし本高原西側の高地については、本研究段階のデータからは明らかではない。

ジュラ紀 前期 Moenave Formation (Zion N. P.)/Wingate Sandstone (GS-E N. M.)

Zion N. P. における Moenave Formation は、砂岩・泥岩の堆積岩に、植物化石や炭化石、魚化石、礫岩層など様々なものを含む。また堆積岩には斜交層理やリップルが見られる。それに対して、GS-E N. M. における Wingate Sandstone は淘汰の良い細粒砂の砂岩層からなり、大規模な斜交層理が見られる。

以上より Zion N. P. は網状河川や氾濫原、GS-E N. M. は砂漠 (erg) であったと考えられる (図 6-2(c))。Clemmensen *et al.* (1989) によると、Zion N. P. 付近は、北に向かう網状河川に位置し、北側から供給される砂漠 (erg) 起源の堆積場の縁に当たる。多量の植物化石を産する事からこの網状河川の後背地は森林を持つと考えられる。魚化石を含む Whitmore Point Member は湖や氾濫原で堆積したものであり、礫岩層を含む Dinosaur Canyon Member はリップルや斜交層理も見られ、河道付近で堆積したものと考えられる。

Blackey and Ranney (2008) による古地理の復元と比較すると、古流向やコロラド高原中央部の砂漠の位置、本高原東側に位置する高地の位置については調和的である。しかし本高原北側と南部の砂漠については、本研究段階のデータからは明らかではない。

ジュラ紀 前期 Kayenta Formation (Main body)

Zion N. P. 下部 Main body は斜交層理やリップルの見られるシルト岩・砂岩、ドロマイトの薄層などからなる。GS-E N. M. では砂岩、シルト岩が中心である。

以上より、Zion N. P., GS-E N. M. ともに河川周辺であったと考えられる (図 6-2(d))。Moenave Formation とは河川周辺という堆積環境として類似しているが、Chronic and Chronic (2004) や Wilkens *et al.* (2007) によると、堆積物は東側のロッキー山脈を起源としており、

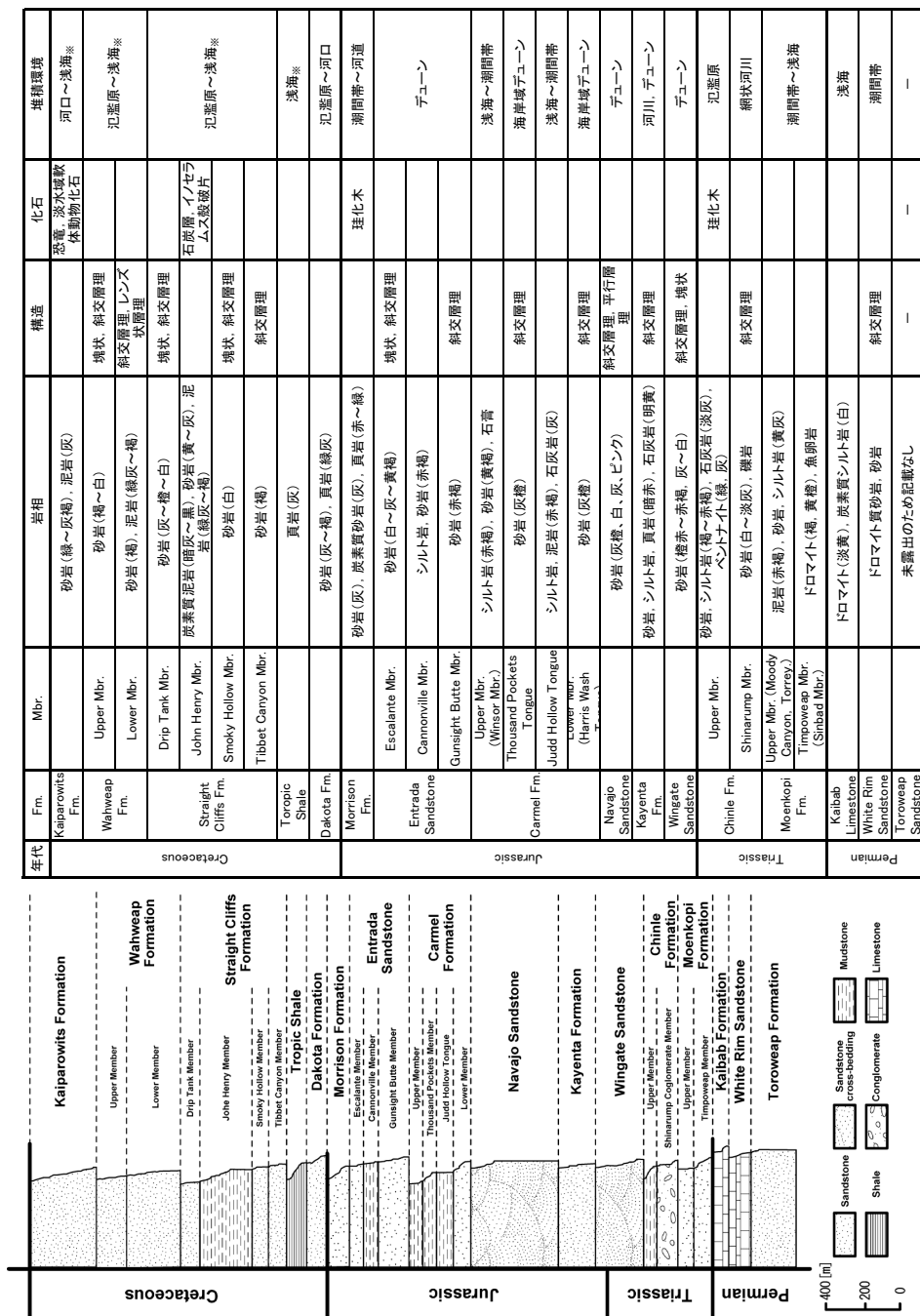


図4 Grand Staircase-Escalante N. M. における柱状図および層序記載

柱状図の原図は USGS, [c] による。堆積場の※印は Blacky and Ranney (2008) による。

年代	Fm.	Mbr.	岩相	構造	化石	堆積環境	
Cretaceous	Kaiparowits Fm.		砂岩(緑~灰褐), 泥岩(灰)		恐竜, 淡水硬骨動物化石	河口~浅海※	
	Wahweap Fm.	Upper Mbr.	砂岩(褐~白)	塊状, 斜交層理		泥礫原~浅海※	
		Lower Mbr.	砂岩(褐), 泥岩(緑灰~褐)	斜交層理, レンズ状層理			
	Straight Cliffs Formation	Drip Tank Mbr.		砂岩(灰~橙~白)	塊状, 斜交層理	石灰質イノセントユース酸礫片	泥礫原~浅海※
		John Henry Mbr.		炭素質泥岩(暗灰~黒), 砂岩(黄~灰), 泥岩(緑灰~褐)			
		Smoky Hollow Mbr.		砂岩(白)	塊状, 斜交層理		
		Tibbet Canyon Mbr.		砂岩(褐)	斜交層理		
	Tropic Shale			頁岩(灰)			浅海※
	Jurassic	Dakota Fm.		砂岩(灰~褐), 頁岩(緑灰)			泥礫原~河口
		Morrison Fm.		砂岩(灰), 炭素質砂岩(灰), 頁岩(赤~緑)		珪化木	湖間帯~河道
Escalante Mbr.				砂岩(白~灰~黄褐)	塊状, 斜交層理		テューン
Entrada Sandstone			シルト岩, 砂岩(赤褐)	斜交層理			
Carmel Formation		Gunsight Butte Mbr.		砂岩(赤褐)	斜交層理		浅海~湖間帯
		Upper Mbr. (Winsor Mbr.)		シルト岩(赤褐), 砂岩(黄褐), 石膏	斜交層理		
Navajo Sandstone		Thousand Pockets Tongue		砂岩(灰緑)	斜交層理		海岸砂子テューン
		Judd Hollow Tongue		シルト岩, 泥岩(赤褐), 石灰岩(灰)	斜交層理		浅海~湖間帯
Kayenta Formation		Lower Mbr. (Harris Wash Tongue)		砂岩(灰緑)	斜交層理		海岸砂子テューン
		Upper Mbr.		砂岩(灰緑, 白, 灰, ピンク)	斜交層理, 平行層理		テューン
Triassic	Navajo Sandstone		砂岩(灰緑, 白, 灰, ピンク)	斜交層理		河川, テューン	
		Kayenta Fm.	砂岩, シルト岩, 頁岩(暗赤), 石灰岩(明黄)	斜交層理			
	Wingate Sandstone		砂岩(橙赤~赤褐, 灰~白)	斜交層理, 塊状		テューン	
		Upper Mbr.	砂岩, シルト岩(褐~赤褐), 石灰岩(淡灰), ベントナイト(緑, 灰)		珪化木		
Permian	Chinle Fm.	Shinarump Mbr.	砂岩(白~淡灰), 礫岩	斜交層理		湖間帯~浅海	
		Upper Mbr. (Moody Canyon, Torrey, Timpoweap Mbr. (Shibad Mbr.))	泥岩(赤褐), 砂岩, シルト岩(黄灰)				
	Moenkopi Fm.		ドロマイト(褐, 黄褐), 魚卵岩			浅海	
		Kaibab Limestone	ドロマイト(淡黄), 炭素質シルト岩(白)	斜交層理			
	White Rim Sandstone		ドロマイト質砂岩, 砂岩	斜交層理		湖間帯	
		Toroweap Sandstone		未露出のため記載なし			-

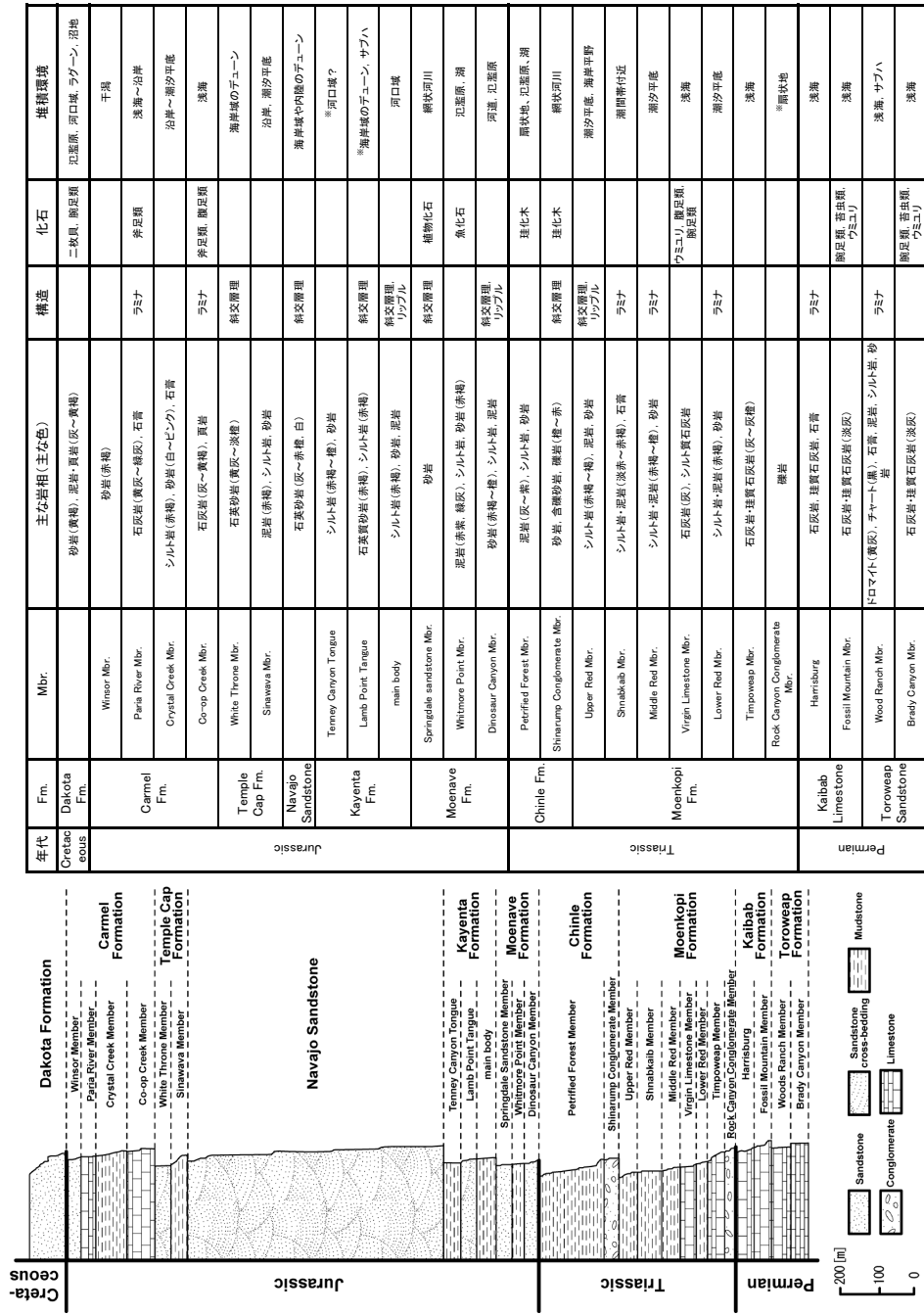


図5 Zion N. P.における柱状図および層序記載

柱状図の原図はUSGS, [b]による。*以外の各項目の記載はBiek *et al.* (2007) による。

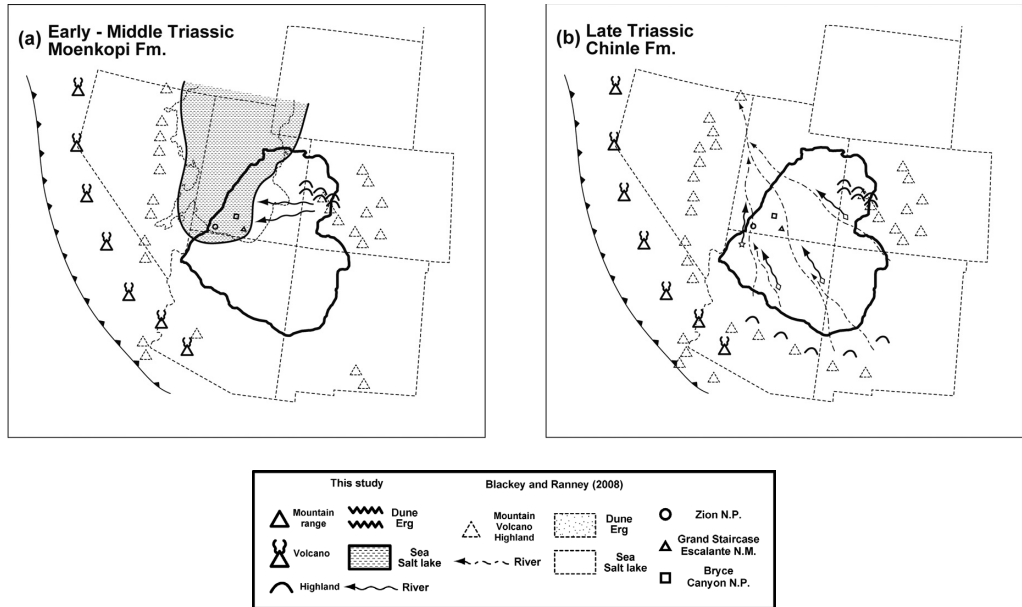


図 6-1 コロラド高原の堆積場（三畳紀）

図中の破線は州境界の位置の目安を示す。（以下(i)まで同様）

- (a) Moenkopi Formation
volcanic arc の位置は Dubiel (1994), highland の位置は Utah Geological Survey による。また Dubiel (1994) による volcanic arc の位置からプレートの沈み込む位置を加えた。
- (b) Chinle Formation
volcanic arc の位置, ◇付き矢印の示す古流向は Dubiel (1994), ☆付き矢印の示す古流向は Stewart *et al.* (1972), highland の位置は Utah Geological Survey による。また Dubiel (1994) による volcanic arc の位置からプレートの沈み込む位置を加えた。

堆積物の移動方向が、東から西に変化している（図 6-2(d) 中◇付き矢印）。

Blackey and Ranney (2008) による古地理の復元と比較すると、コロラド高原北部の砂漠の位置、本高原東側に位置する高地の位置、さらに西から東への古流向については調和的である。ただし南から北への古流向や塩湖の存在については本研究段階のデータからは明らかではない。

ジュラ紀 前期 Kayenta Formation (Tenney Canyon Tongue, Lamb Point Tongue)

Zion N. P. 上部 Tenney Canyon Tongue はシルト岩・砂岩、中部 Lamb Point Tongue は斜交層理の見られる石英質砂岩からなる。ただしどちらも石灰岩層を狭在する。GS-E N. M. では砂岩・シルト岩が中心であるが、石灰岩も見られ、最上部には大規模な斜交層理のある砂岩層が存在する。

以上より、Zion N. P. は海岸域のデューンやサブハ、GS-E N. M. ではデューンであったものと考えられる（図 6-2(e)）。Zion N. P., GS-E N. M. ともに堆積物は細粒であり、石灰岩層を狭在していることから、Zion N. P. 付近に汽水域あるいは塩湖の存在が考えられる。Zion N. P. 中部 Lamb Point Tongue や GS-E N. M. 最上部には、風成層が存在するが、これらは砂漠 (erg)

を形成していたものであり、やがてこれらの砂漠 (erg) が南下して Navajo erg を形成したと考えられる (Wilkins *et al.* 2007)。

Blackey and Ranney (2008) による古地理の復元と比較すると、本高原中央部の砂漠の位置、本高原東側に位置する高地の位置については調和的である。ただし本研究における汽水域あるいは塩湖の位置が Zion N. P. により近いと考えた点で異なる。本高原西側に位置する高地については、本研究段階のデータからは明らかではない。

ジュラ紀 前期 Navajo Sandstone

Zion N. P., GS-E N. M. とともに淘汰の良い細粒砂の石英砂岩からなり、大規模で大変厚い斜交層理も見られる。層厚は Zion N. P. では 550-700 m, GS-E N. M. では 150-500 m 程度であり、西方に向かって厚くなる。

以上より、Zion N. P., GS-E N. M. とともに広大な砂漠 (erg) であったと考えられる (図 6-2 (f))。Blackly (1994) や Peterson (1994) によると、堆積物の流向測定からは、当時、北からの風が卓越する環境であったとしている。Kocurek and Dott (1983) や Riggs *et al.* (1993) によると、この時期に広がっていた Navajo erg は、ユタ州北部やワイオミング州に広がっていた Nugget erg や、ネバダ州南部に広がっていた Aztec erg ともつながっており、大規模な砂漠 (erg) を形成していた。

Blackey and Ranney (2008) による古地理の復元と比較すると、本高原中央部の砂漠の位置、本高原東側に位置する高地の位置については調和的である。ただし Aztec erg の南東方向への広がり具合については、本研究段階のデータからは明らかではない。

ジュラ紀 中期 Carmel Formation, Temple Cap Formation (Zion N. P.)/Entrada Sandstone, Carmel Formation (GS-E N. M.)

Zion N. P. では、石灰岩と砂岩を中心とした Carmel Formation と、その下位に石英砂岩や泥岩を中心とした Temple Cap Formation がある。それに対して、GS-E N. M. では、シルト岩や砂岩を中心とした Carmel Formation と、その上位に砂岩を中心とした Entrada Sandstone がある。

Zion N. P. と GS-E N. M. の両方に共通して見られる Carmel Formation は、Zion N. P. では石灰岩の割合が多く、斧足類や腹足類の化石を多量に含む部層が存在する。また Co-op Creek Member にはカリフォルニア州南部～ネバダ州西部にあった火山弧からの火山灰が含まれている (Kowallis *et al.* 2001)。GS-E N. M. では部層によっては、斜交層理が見られる細粒砂砂岩や、石膏、石灰岩も見られる。

以上より Zion N. P. は Carmel Formation 堆積時には浅海、Temple Cap Formation 堆積時

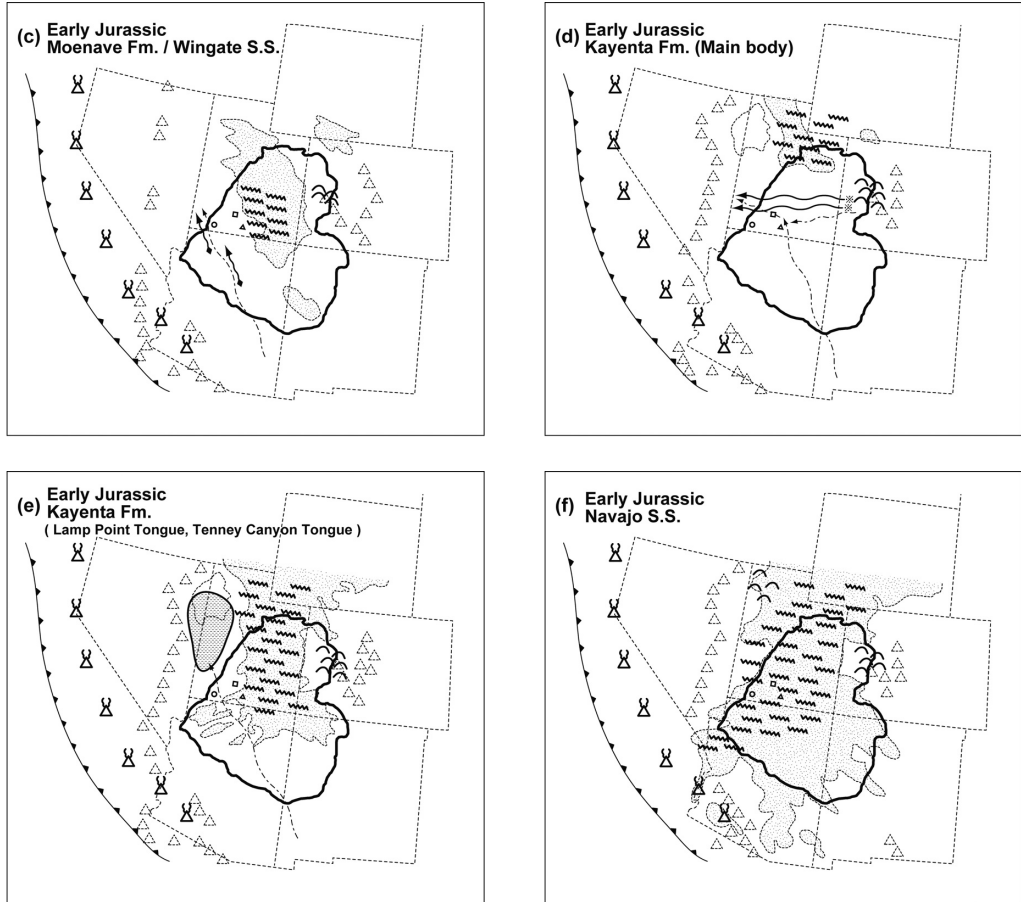


図 6-2 コロラド高原の堆積場 (ジュラ紀)

- (c) Moenave Formation/Wingate Sandstone 堆積場
 ◆付き矢印の示す古流向は Clemmenssen *et al.* (1989) による。
- (d) Kayenta Formation (Main body)
 ※付き矢印の示す古流向は Wilkens *et al.* (2007) による。
- (e) Kayenta Formation (Lamp Point Tongue, Tenney Canyon Tongue)
- (f) Navajo Sandstone
 volcanic arc の位置, Navajo erg, Aztec erg, Nugget erg の位置は Porter (1987), highland の位置は Utah Geological Survey による。また Porter (1987) による volcanic arc の位置からプレートの沈み込む位置を加えた。

には海岸域のデューンであった (図 6-3(8))。さらに詳細には, Temple Cap Formation の White Throne Member は海岸域のデューン, Sinawava Member は潮汐平底であった。Sinawava Member の層厚は南西方向に向けて厚くなり, Zion N. P. の Kolob Canyon では 3 m にも満たないが, Gunlock 付近では 120 m にもなる。これは堆積物が南から北へ移動したため, 沖側の Kolob Canyon では層厚が薄くなったものと考えられる。GS-E N. M. は Entrada Sandstone 堆積時には砂漠 (erg), Carmel Formation 堆積時には浅海~潮間帯~海岸域のデューンやサブハであったと考えられる。また, Zion N. P. でも GS-E N. M. でも, 石膏や石灰岩層を挟

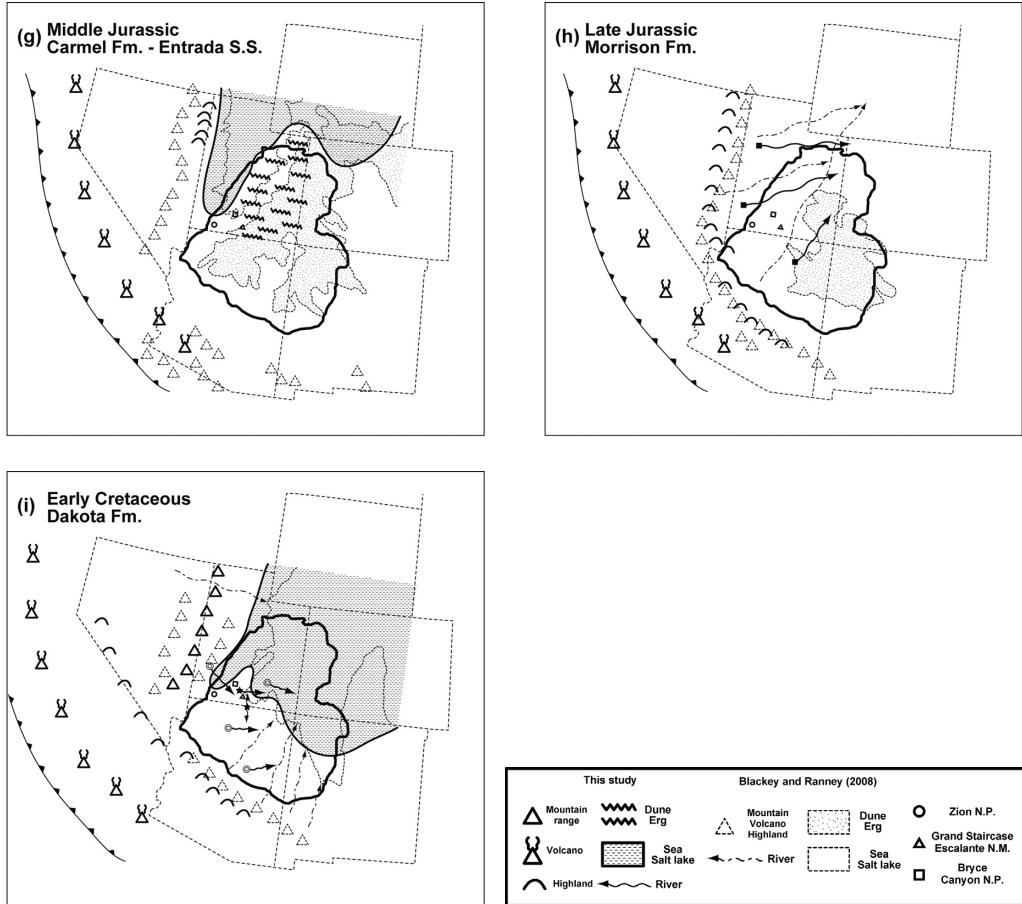


図 6-3 コロラド高原の堆積場（ジュラ紀～白亜紀）

- (g) Carmel Formation — Entrada Sandstone
volcanic arc の位置は Kowallis *et al.* (2001), Entrada erg の位置は Peterson (1994) による。また Kowallis *et al.* (2001) による volcanic arc の位置からプレートの沈み込む位置を加えた。
- (h) Morrison Formation
volcanic arc, highland mountain range の位置, ■ 付き矢印の示す古流向は Lawton (1994) による。また Lawton (1994) による volcanic arc の位置からプレートの沈み込む位置を加えた。
- (i) Dakota Formation
mountain range の位置, ◎ 付き矢印の示す古流向は Elder and Kirkland (1994), ★ 付き矢印の示す古流向は Ulicny (1999) による。

んでいることから、北方から海が南下し、数回海に沈んだ可能性もある。

Blackey and Ranney (2008) による古地理の復元と比較すると、コロラド高原辺縁部の海岸線の形・位置や本高原北部の砂漠の位置については調和的である。ただし本高原北側の砂漠や海岸線の形・位置については解釈が異なり、本高原西側に位置する高地、砂漠の南方向への広がり具合については本研究段階のデータからは明らかではない。

ジュラ紀 後期 Morrison Formation

Zion N. P. では Morrison Formation は侵食され、現在は残っておらず、Carmel Formation に対して上位の Dakota Formation が不整合で重なっている。それに対して、GS-E N. M. では、Morrison Formation は上位から Brushy Basin Member, Salt Wash Member, Tidwell Member に分類され、それぞれ泥岩、粗粒砂岩、炭素質砂岩などからなる。Salt Wash Member には、珪化木、礫岩層、コーツァイトなども含まれる。さらにそれぞれの部層の層厚は、不整合により大きく変化し、Brushy Basin Member は西に向かって薄くなり、Salt Wash Member は不規則に変化し、Tidwell Member は西に向かって厚くなる。

以上から、Tidwell Member 堆積時は、東側は高地で侵食が盛んに起き、層厚が薄く、西側は低地（海やその周辺）で相対的に厚く堆積したものと考えられ、Entrada Sandstone 堆積時と類似した堆積場であった。逆に Brushy Basin Member 堆積時は、西側で隆起が盛んに起こった結果、侵食され、東側に向かう河川により、東に向かって厚い堆積層を形成し、Dakota Formation 堆積時と類似した堆積場であった。Tidwell Member から Brushy Basin Member への遷移期にあたる Salt Wash Member では、河道付近では、河道を埋めるように厚い堆積層を形成するが、古地形によって層厚が不規則に変化したものと考えられる（図 6-3(h)）。

Blackey and Ranney (2008) による古地理の復元と比較すると、コロラド高原東側・南側に位置する高地と古流向について調和的である。ただし本高原南東部に広がる砂漠については本研究段階のデータからは明らかではない。

白亜紀 前期 Dakota Formation

Zion N. P. では砂岩・泥岩が中心であり、二枚貝や腹足類の貝化石やカキのコキナ層も見られる。GS-E N. M. では砂岩・泥岩が中心であるが、下部には石炭層や炭素質泥岩、粗粒砂岩や礫岩層が見られることもある。

以上から、Zion N. P. は氾濫原～潮間帯～浅海で堆積したものと考えられる（図 6-3(i)）。Nichols (1995) は脊椎動物や微小生物の化石群から汽水～淡水域の浅海であったとしており、カキのコキナ層の存在を考慮すると、Zion N. P. 付近まで海が入り込んでいた可能性がある。対して、GS-E N. M. では全般的に粒度の細かい堆積物が中心であるが、粗粒砂岩や礫岩層も見られることから、氾濫原～河口付近であったと考えられる。Ulicny (1999) は GS-E N. M. の東側で堆積相解析を行っており、河口～潮間帯相では東向き、北西向きの古流向を、浅海を示すユニットでは南北方向のウェーブリップルを確認しており、本研究における海の湾入方向および河川の流向とも調和的である。

Blackey and Ranney (2008) による古地理の復元と比較すると、コロラド高原東側・南側に

位置する高地については調和的である。ただし古流向についての解釈が異なり、さらに Zion N. P. 付近を浅海と考えると海岸線の湾入の仕方についても解釈が異なる。

堆積環境の変遷

本研究地域には三畳紀から白亜紀にかけてほとんど変形を受けない堆積岩層が累重し、その堆積環境は図6や上記の考察に示したように海底から砂漠という環境まで大きく変化している。まずペルム紀においては Kaibab Limestone に代表されるような海成の堆積物が見られ(図4, 図5)、当時のコロラド高原の位置には海が広がっていたと考えられる。三畳紀前期から中期にかけては海進や海退を繰り返しながら、堆積環境は浅海から潮間帯、内陸河川に移り変わっていく。三畳紀後期には内陸域の河川の環境となり、Chinle Formation, Upper Member には火山灰起源と考えられる堆積物も見られ、この地域にも火山弧の影響が及んでいたことが伺える。また同層からは珪化木も産出し、後背地に森林の存在も考えられる。ジュラ紀になると北から南に向かって、内陸から Wingate erg や Navajo erg が拡大し、砂漠の周囲では塩湖が見られるようになり、乾燥した環境に推移していく。その後ジュラ紀中期から後期になると砂漠は縮小し始め、コロラド高原周辺部では造山運動が始まり、周囲の地形が大きく変化し、河川などによる堆積物は北東方向に移動するようになる。その傾向は白亜紀に入っても続き、氾濫原～潮間帯～浅海となっていた。特にこの時期の造山運動はララミー造山運動(Laramide orogeny)と呼ばれ、現在の地質構造区の基礎を形成している。また本地域においてもこの造山運動によって Morrison Formation と Dakota Formation の間に不整合が作られている。不整合形成後の白亜紀の間、コロラド高原は氾濫原～潮間帯～浅海が続いた。

おわりに

本論では主に Biek et al. (2007) による Zion N. P. の層序記載と、Doelling and Willis (1999) による GS-E N. M. の層序記載を元に、コロラド高原西縁部の中生界の地層の変遷をまとめ、本地域を中心に原生代以降の地質変遷を示した Blackey and Ranney (2008) と比較検討した。その結果、多くの部分で調和的な結論を得たが、堆積環境を論ずるには不十分な部分等もあった。このような、北米大陸西部のジュラ紀以降の地質学的な変遷については、地域的な研究例はあるが、広くまとめた例はまだ少ない。本地域は北米大陸西岸域の地質学的変遷を知る上で鍵となる地域でもあるので、さらに対象地域を広げ、さらなる北米大陸の地質学的理解を深めて行くものである。

引用文献

- Biek, R. F., Rowley, P. D., Hacker, D. B., Hayden, J. M., Willis, G. C., Hintze, L. F., Anderson, R. E. and Brown, K. D., 2007, Interim geologic map of the St. George 30' × 60' quadrangle and the east part of the clover mountains 30' × 60' quadrangle, Washington and Iron counties, Utah, Utah Geological Survey Open File Report 478, p. 70
- Blakey, R. C., 1994, Paleogeographic and tectonic controls on some Lower and Middle Jurassic erg deposits, Colorado Plateau, in Caputo, M. V., Peterson, J. A. and Franczyk, K. J., editors, Mesozoic systems of the Rocky Mountain region, USA: Denver, Colorado, Rocky Mountain Section of the Society for Sedimentary Geology, pp. 273-298.
- Blakey, R. and Ranny, W., 2008, Ancient Landscapes of the Colorado Plateau, Grand Canyon Association, p. 156
- Chronic, H. and Chronic, L., 2004, Pages of Stone: Geology of Grand Canyon & Plateau Country National Parks & Monuments, Mountaineers Books, p. 176
- Clemmensen, L. B., Olsen, H. and Blakey, R. C., 1989, Erg-margin deposits in the Lower Jurassic Moenave Formation and Wingate Sandstone, southern Utah: Geological Society of America Bulletin, Vol. 101, pp. 759-773.
- Doelling, H. H. and Willis, G. C., 1999, Interim geologic map of the Esclante and parts of the Loa and Hite crossing 30' × 60' quadrangles, Garfield and Kane counties, Utah, Utah Geological Survey Open File Report 368
- Dubiel, R. F., 1994, Triassic deposystems, paleogeography, and paleoclimate of the Western Interior, in Caputo, M. V., Peterson, J. A. and Franczyk, K. J., editors, Mesozoic systems of the Rocky Mountain region, USA: Denver, Colorado, Rocky Mountain Section of Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, pp. 133-168.
- Elder, W. P. and Kirkland, J. I., 1994, Cretaceous paleogeography of the southern Western Interior Region, in Caputo, M. V., Peterson, J. A. and Franczyk, K. J., editors, Mesozoic systems of the Rocky Mountain region, USA: Denver, Colorado, Rocky Mountain Section of the Society for Sedimentary Geology, pp. 415-440.
- Kamilli, R. J. and Richard, S. M., editors, 1998, Geologic highway map of Arizona, Tucson, Arizona Geological Society and Arizona Geological Survey, 1 sheet containing text and figures, scale 1:1,000,000
- Kocurek, G. and Dott, R. H., Jr., 1983, Jurassic paleogeography and paleoclimate of the central and southern Rocky Mountains region, in Reynolds, M. W. and Dolley, E. D., editors, Mesozoic paleogeography of the west-central United States: Denver, Rocky Mountain Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, pp. 101-116.
- Kowallis, B. J., Christiansen, E. H., Deino, A. L., Zhang, Chengning and Everitt, B. H., 2001, The record of Middle Jurassic volcanism in the Carmel and Temple Cap Formations of southwestern Utah: Geological Society of America Bulletin, Vol. 113, No. 3, pp. 373-387.
- Lawton, T. F., 1994, Tectonic setting of Mesozoic sedimentary basins, Rocky Mountain region, United States, in Caputo M. V., Peterson, J. A. and Franczyk, K. J., editors, Mesozoic Systems of the Rocky Mountain Region, USA: Denver, Colorado, Rocky Mountain Section of Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, pp. 1-26.
- Nichols, D. J., 1995, Palynology and ages of some Upper Cretaceous formations in the Markagunt and northwestern Kaiparowits Plateaus, southwestern Utah, in Maldonado, Florian and Nealey, L. D., editors, Geologic studies in the Basin and Range — Colorado Plateau transition in southeastern Nevada, southwestern Utah and northwestern Arizona, 1995: U.S. Geological Survey

- Bulletin 2153-E, pp. 81-95.
- Peterson, F., 1994, Sand dunes, sabkhas, streams, and shallow seas — Jurassic paleogeography in the southern part of the Western Interior basin, in Caputo, M. V., Peterson, J. A. and Franczyk, K. J., editors, Mesozoic systems of the Rocky Mountain region, USA: Denver, Colorado, Rocky Mountain Section of the Society for Sedimentary Geology, pp. 233-272.
- Porter, M. L., 1987, Sedimentology of an ancient erg margin: the Lower Jurassic Aztec Sandstone, southern Nevada and southern California: *Sedimentology*, Vol. 34, pp. 664-680.
- Riggs, N. R., Mattinson, J. M. and Busby, C. J., 1993, Correlation of Jurassic eolian strata between the magmatic arc and the Colorado Plateau — new U-Pb geochronologic data from southern Arizona: *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 105, pp. 1231-1246.
- Stewart, J. H., Poole, F. G. and Wilson, R. F., 1972, Stratigraphy and origin of the Chinle Formation and related Upper Triassic strata in the Colorado Plateau region, with a section on sedimentary petrology by R. A. Cadigan and on conglomerate studies by William Thordarson, H. F. Albee and J. H. Stewart: U.S. Geological Survey Professional Paper 690, p. 336.
- Ulicy, D., 1999, Sequence stratigraphy of the Dakota Formation (Cenomanian), southern Utah: interplay of eustasy and tectonics in a foreland basin, *Sedimentology*, Vol. 46, pp. 807-836.
- USGS, [a], Geologic Provinces of the United States: Basin and Range Province:
<http://geomaps.wr.usgs.gov/parks/province/basinrange.html>
- USGS, [b], Stratigraphy of the Zion National Park:
http://3dparks.wr.usgs.gov/coloradoplateau/zion_strat.htm
- USGS, [c], Stratigraphy of the Grand Staircase-Escalante National Monument:
http://3dparks.wr.usgs.gov/coloradoplateau/escalante_strat.htm
- Utah Geological Survey, Utah's Geologic History:
<http://geology.utah.gov/online/pdf/pi-19.pdf>
- Wilkens, N., Farmaer, J. D. and Pigg, K. B., 2007, Paleogeology of Jurassic Navajo sandstone interdune environments, Geological Society of America Meeting Session 160.

Geological Stratigraphy of The Colorado Plateau: Cenozoic Geology of The West Margin of The Colorado Plateau

Hidetsugu TANIGUCHI and Yosuke SAITO

Abstract

The strata on the Colorado Plateau preserve some of the most extensively, successively exposed and well studied Late Triassic to Cretaceous continental and minor marine deposits. The area of study is centered on the Zion National Park and Grand Staircase-Escalante National Monument, the west margin of this plateau but also includes adjacent areas to provide a probable reconstruction of paleo-depositional environments.

It is assumed that paleo-depositional environments of the west margin of this plateau were varied from marine to fluvial channel on the period of Permian to Triassic, the large erg spread over this area on the early to middle Jurassic, the direction of fluvial channels changed from westward to east in accordance with an orogeny of the late Jurassic. It is presumed that the paleo-depositional environment of this area turned to shallow marine from that day on the formation of the unconformity between Morrison Formation and Dakota Formation, which was formed by the movement of the Laramide orogeny.