

コロラド高原の地質層序

— ザイオン国立公園およびその周辺 —

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。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わずかに北傾斜した古生層, 中生層から成り, これらが第三紀に隆起し, 現在は海拔 1,500 m を超える高原となっている。この高原の主体をなす古生代後期 (ペルム紀~) 以降の地層には赤色砂岩が多く含まれ, しかも切り立った崖を作っていることから独特の風景を示している。そのためそれらのうちのいくつかは国立公園 (National Park) として保護され, しかもその場へのアクセスも整備されている (図 1)。特に, コロラド高原の南縁から北方にかけてのルートを通ると, この高原の隆起によってほぼ完璧な層序を保った水平層が天然の階段状に露出しており, 地層断面を連続的に観察することができる。

近年, 地質に関する情報がインターネットを通じたデータベース化がされ, 容易に入手できるようになってきた。特に米国ユタ州の地質情報が最近インターネットを通じたデータベース化がされ, 上記の地域に関する情報が飛躍的に増した。そこで今回上記の地域の一つであるザイオン国立公園 (Zion National Park ; 以下, Zion N. P. と記す) とその周辺に見られる地質層序及び岩相記載について, それらデータベースを基に (例えば http://geology.utah.gov/maps_pubs.htm) 再構成し, 現地において目にする地層の特徴と対応できる解像度で地質層序と岩相を表記した。

地質概説

北アメリカ大陸の太平洋側の山脈地帯は南北に帯状に配列し, これら構造体全体はコルディレラ造山帯 (Cordillera) と呼ばれている。この構造体はいくつかの地形区に区分される。

* 茗溪学園高等学校

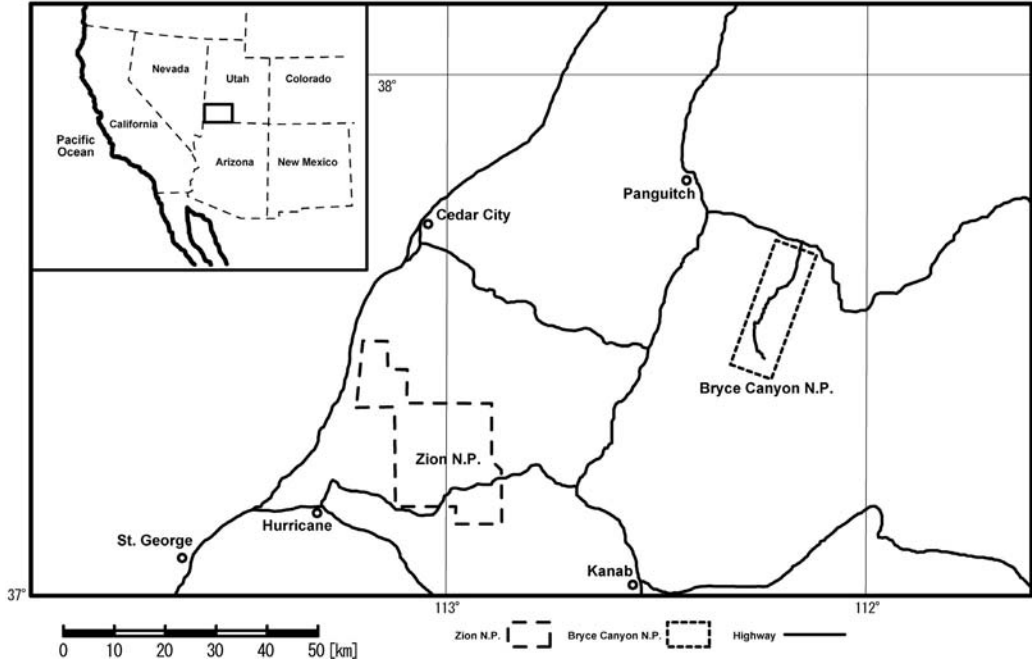


図1 Zion National Park 周辺の位置図

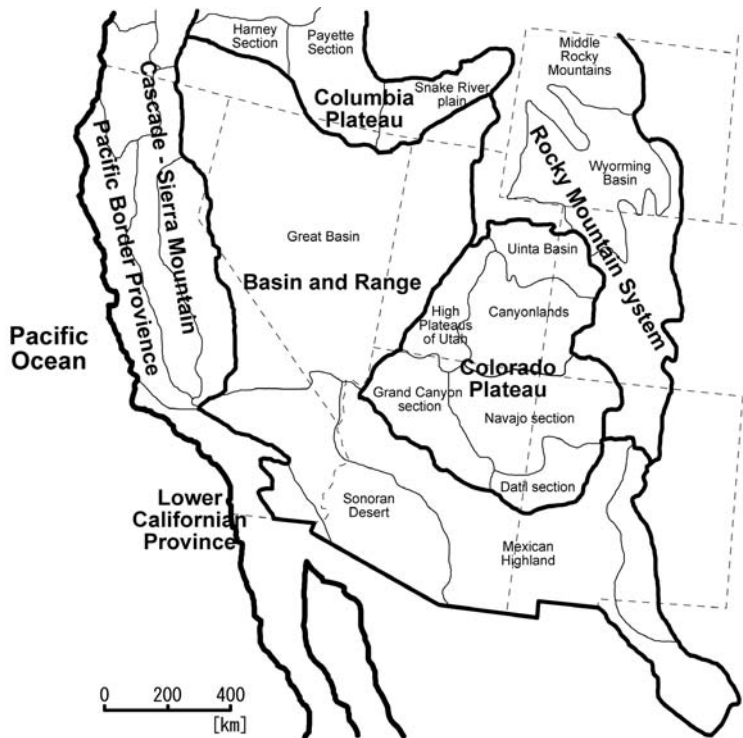


図2 アメリカ南西部における地質構造区分図
原図は USGS, [a] による。破線は州境界。

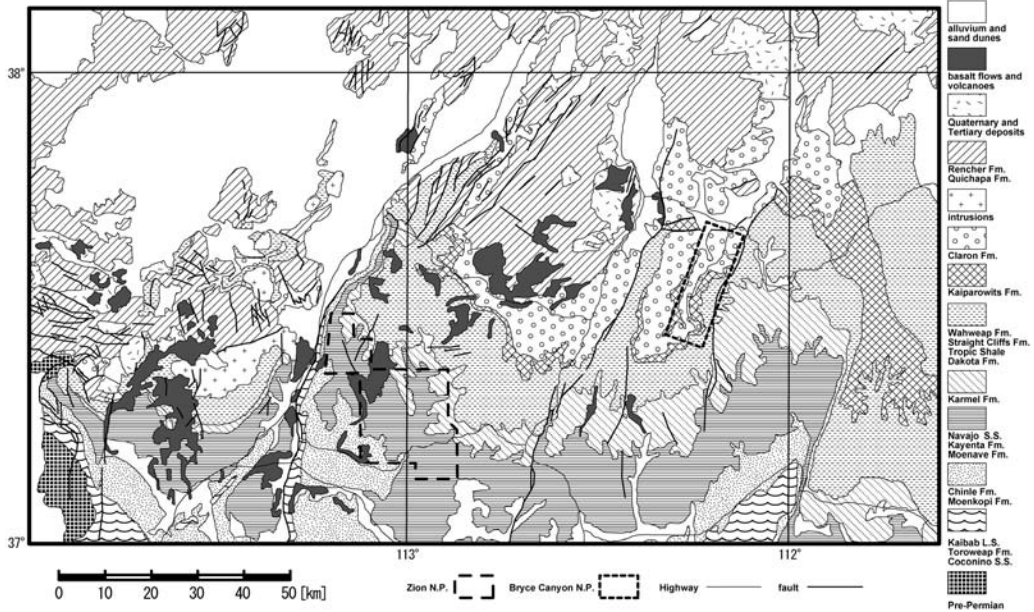


図3 Zion National Park 周辺の地質図

Hintze, 1997. に一部加筆。

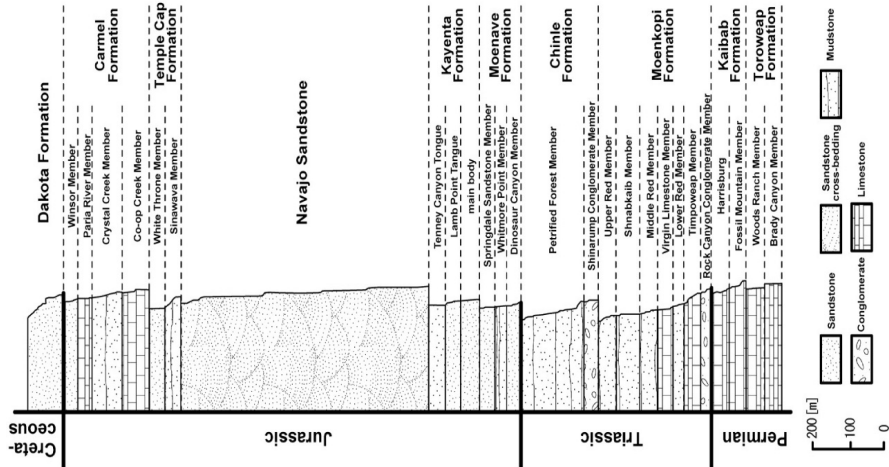
太平洋側には Pacific Mountain System が存在し、図 2 に示す Pacific Border Province と Cascade - Sierra Mountain の 2 つの構造区を併せたものに対応する。Pacific Mountain System は、中生代から新生代の堆積岩、変成岩、火成岩から成る海岸山脈 (Coast Ranges)、中生代の花崗岩から成るシエラネバダ山脈 (Sierra Nevada)、第三紀から現在に至る火山地帯であるカスケード山脈 (Cascade)、及びそれらの山脈の間にある盆地 (Great Valley) から構成される。その東側には、ホットスポットを起源とする広大な溶岩台地であるコロンビア高原 (Columbia Plateau) が広がっている。またその南側には、Basin and Range Province が見られる。この構造区は南北走向の多数の断層とそれに沿う山脈、及びその山脈の間を埋める地溝が連続しているのが特徴である。さらにその東側にロッキー山脈 (Rocky Mountain System) が存在し、南部では第三紀になって起こった著しい隆起によって、海拔 4,000 m を超える嶺を持つ山脈になっている。そして Basin and Range Province と Rocky Mountain の間には、コロラド高原 (Colorado Plateau) が分布している。この高原の周囲は断層で区分され、その境界部には第三紀以降の火山岩の噴出がある。Zion N. P. 周辺においても、その一部の火山岩が見られる (図 3)。

Zion N. P. 層序記載

ここでは Zion N. P. 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 Biek *et al.*

年代	Fm.	Mbr.	岩相	構造	化石	堆積環境	Utah州堆積場	
Cretaceous	Dakota Fm.		砂岩, シルト岩, 泥岩, 頁岩		二枚貝, 腕足類	氾濫原, 河口域, ラグーン, 沼地		
			Winsor Mbr. Paria River Mbr. Crystal Creek Mbr.	砂岩, シルト岩 石灰岩, 石膏 シルト岩, 泥岩, 砂岩, 石膏		斧足類		干潟 浅海~沿岸 沿岸~潮砂平陸
Jurassic	Carmel Fm.		シルト岩, 泥岩, 砂岩, 石膏			浅海		
			Co-op Creek Mbr. White Throne Mbr. Siawawa Mbr.	石灰岩, 頁岩 石膏 泥岩, シルト岩, 砂岩	ラマナ 斜交層理	斧足類, 腕足類		浅海 海岸域のフェーン 沿岸, 潮砂平陸
	Navajo Sandstone		石英砂岩	斜交層理				海岸域や内陸のフェーン
			Tenney Canyon Tongue Lamb Point Tongue main body	シルト岩, 砂岩 石英質砂岩, シルト岩 シルト岩, 砂岩, 泥岩	斜交層理 斜交層理 リップル			河口域? 河口域
			Springdale sandstone Mbr. Whitmore Point Mbr. Dinosaur Canyon Mbr.	砂岩 泥岩, シルト岩, 砂岩 砂岩, シルト岩, 泥岩	斜交層理 斜交層理 リップル	植物化石 魚化石		網状河川 氾濫原, 湖 河道, 氾濫原
Triassic	Chinle Fm.		泥岩, シルト岩, 砂岩	斜交層理	柱状木	扇状地, 氾濫原, 湖		
			Petrified Forest Mbr. Shinarump Conglomerate Mbr. Upper Red Mbr. Shabakab Mbr. Middle Red Mbr. Virgin Limestone Mbr. Lower Red Mbr. Timpanop Mbr.	砂岩, 各種砂岩, 礫岩 シルト岩, 泥岩, 砂岩 シルト岩, 泥岩, 石膏 シルト岩, 泥岩, 砂岩 シルト岩, 泥岩, 砂岩 石灰岩, シルト質石灰岩 シルト岩, 泥岩, 砂岩 石灰岩, 珪質石灰岩	斜交層理 斜交層理 リップル ラマナ ラマナ ラマナ ラマナ	柱状木 柱状木		網状河川 潮砂平陸, 海岸平野 潮間帯付近 潮砂平陸 浅海 潮砂平陸 浅海
Permian	Kaibab Limestone		石灰岩, 珪質石灰岩, 石膏	ラマナ	腕足類, 岩虫類, ワムユリ	扇状地		
			Harrisburg Fossil Mountain Mbr. Wood Ranch Mbr. Brady Canyon Mbr.	石灰岩, 珪質石灰岩, 石膏 石灰岩, 珪質石灰岩 石灰岩, シルト岩, 砂岩 砂岩, 珪質石灰岩				浅海 浅海 浅海, サブハ 浅海

図 4 Zion National Park 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。また, Utah 州堆積場は Wilkins *et al.* (2007) 及び Utah Geological Survey, [a] による。



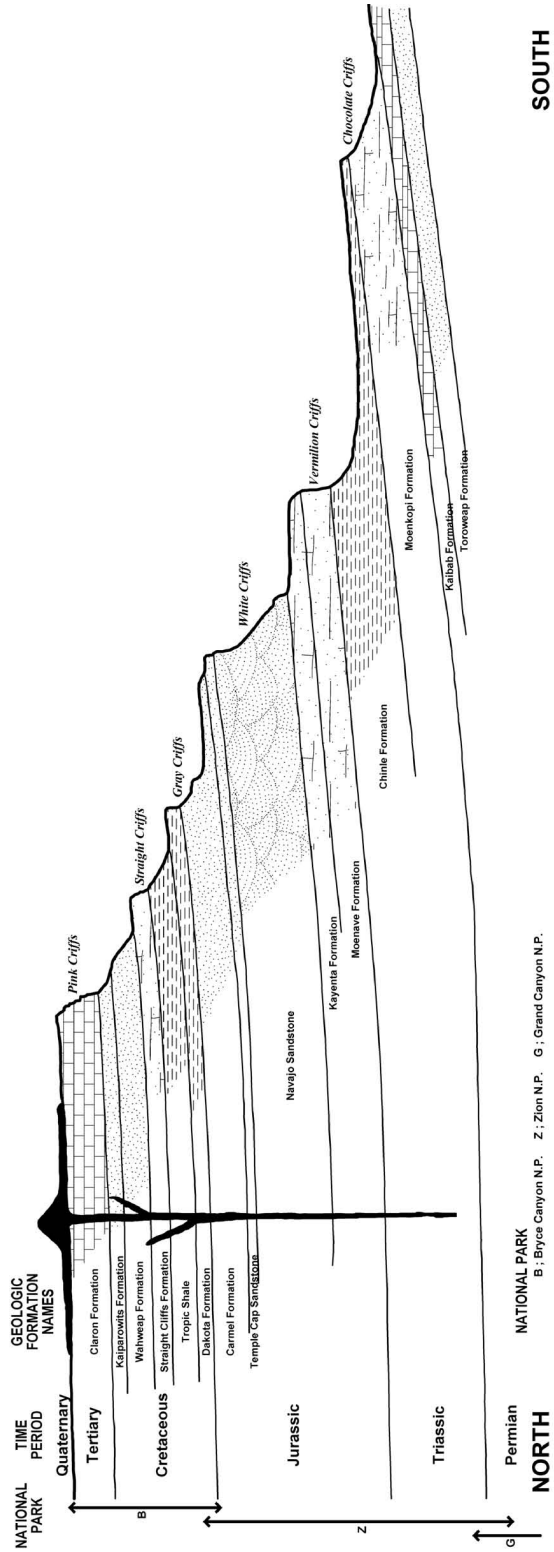


図5 アメリカ南西部 南北方向地質断面模式図

原図は Utah Geological Survey, [b] による。縦のスケールを強調してある。左端の矢印はそれぞれの国立公園で見られる地層の層序範囲を示す。

(2007) によるものである。また、Zion N. P. 周辺の地質図を図 3 に、Zion N. P. における柱状図および層序記載を図 4 に示した。さらにアメリカ南西部における南北方向地質断面の模式図を図 5 に示した。

Dakota Formation (白亜系上部)

砂岩、シルト岩、泥岩、頁岩からなる。砂岩は黄褐色の薄層～厚層で、細粒砂～中粒砂からなる。泥岩は灰色～黄褐色で、全般に粘土鉱物化している。上部では特に、カキのコキナ層や二枚貝、腹足類が見られる。Dakota Formation 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 (Nichols, 1995)、あるいは氾濫原、河口域、ラグーン、沼地のような環境で堆積したと考えられる (Gustason, 1989; Laurin and Sageman, 2001; Tibert *et al.*, 2003)。層厚は約 260 m (Biek, in prep.)。

Carmel Formation (ジュラ系中部)

Winsor Member (ジュラ系中部)

砂岩とシルト岩からなる。砂岩は明るい赤褐色で、細粒砂～中粒砂からなる。上位の白亜系が不整合で重なるが、地域によっては基底礫が見られないこともある。広大な砂質の干潟で堆積したと考えられる (Imaly, 1980; Blackly *et al.*, 1983)。不整合で切られているため、西方に向かって薄くなる。層厚は 0～98 m。

Paria River Member (ジュラ系中部)

石灰岩と石膏からなる。石灰岩層は、ラミナの見られる薄層で、黄灰色～緑灰色である。まれに小さな斧足類の化石が含まれる。下部には白色の厚い石膏層も見られる。西部では白亜系最下部 Ceder Mountain Formation が不整合で重なっている。浅海から沿岸で堆積したと考えられる (Imaly, 1980; Blackly *et al.*, 1983)。不整合で切られているため、西方に向かって薄くなっている。層厚は 0～50 m。

Crystal Creek Member (ジュラ系中部)

シルト岩、泥岩、砂岩、石膏からなる。シルト岩は石膏質で、赤褐色の薄層～中厚層である。砂岩は細粒砂～中粒砂からなる。場所によっては、細粒砂～中粒砂サイズの黒雲母を豊富に含んだ灰色の薄い泥岩層を含むこともある。下部には碧玉が見られる。最上部には白～灰色～ピンク色で、細粒砂～中粒砂からなる砂岩層を含む。上位の Paria River Member が重なっているが、西部では不整合に切られている部分も見られる。

Kowallis *et al.* (2001) による、本部層に含まれる火山灰層の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定によれば、

1.67～1.66 億年前頃に堆積し、現在の California 南部～Nevada 西部の位置に当時あった火山弧を起源とすると考えられた。また、堆積場は沿岸から潮汐平底と考えられた (Imaly, 1980; Blackly *et al.*, 1983)。不整合に切られているため、西方に向かって薄くなっている。層厚は 0～75 m。

Co-op Creek Member (ジュラ系中部)

上部と下部に区分することができる。上部は、明灰色、黄褐色の薄い石灰岩層で、地域によっては、斧足類、腹足類の化石を多量に含む。下部は、ラミナの見られる薄層で、明灰色の石灰岩、頁岩からなり、基底にはまれに石膏と細粒砂岩が見られる。上位の Crystal Creek Member が重なっているが、西部では白亜系最下部 Ceder Mountain Formation の基底礫が不整合で重なっているところも見られる。

Kowallis *et al.* (2001) による、本部層下部に含まれる火山灰層の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定によれば、1.68～1.67 億年前頃に堆積し、Crystal Creek Member 同様、現在の California 南部～Nevada 西部の位置に当時あった火山弧を起源にすると考えた。また本部層は浅海で堆積したと考えられる (Imaly, 1980; Blackly *et al.*, 1983)。一般に西方に向けて薄くなる傾向がある。層厚は 87～177 m。

Temple Cap Formation (ジュラ系中部)

White Throne Member (ジュラ系中部)

石英砂岩からなる。砂岩は黄灰色～淡橙色で、淘汰のよい細粒砂からなる。また層厚 6 m にもなる斜交層理の厚い層を含み、外見は Navajo Sandstone に類似している。海岸域のデューンであったと考えられる (Blackly, 1994; Peterson, 1994)。層厚は 0～40 m。

Sinawava Member (ジュラ系中部)

泥岩、シルト岩、砂岩からなる。泥岩は赤褐色で斜面を成し、砂岩は細粒砂からなる。西方では層厚 3 m 程度の石膏層やチャートのノジュールを挟むことがある。Zion N. P. 地域においては、上位の White Thron Member と指交関係にあり、漸移的に変化する。しかし西方では上位の Co-op Creek Member が不整合で重なっている。

Kowallis *et al.* (2001) による、本部層に含まれる火山灰層の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定によれば、1.70～1.69 億年前頃に堆積し、現在の California 南部～Nevada 西部の位置に当時あった火山弧を起源とすると考えた。堆積環境は沿岸や潮汐平底と考えられている (Blackly, 1994; Peterson, 1994)。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。

Navajo Sandstone (ジュラ系下部)

石英砂岩からなる。赤橙色～灰色、白色の砂岩で、淘汰がよく、角のとれた細粒砂～中粒砂からなる。砂岩層は、広範囲に斜交層理を形成し、3～14 m 以上の厚さの平板状、くさび状、舟状斜交層理が見られる。

Zion N. P. 南部における Navajo Sandstone は、色と風化特性から3つに区分することができる。

- (1) “white Navajo”; Navajo Sandstone の上部を構成し、灰色～白色である。これは炭化水素の移動に伴い、褐鉄鉱や赤鉄鉱質の石基が下方へ移動したため、白くなったものである (Beitler *et al.*, 2003)。
- (2) “pink Navajo”; 中部を構成しており、赤鉄鉱質の石基が一樣に広がっているため赤橙色をしている。
- (3) “brown Navajo”; 下部を構成し、塊状で崖を形成している。地下水や炭化水素の移動に伴い、酸化鉄が移動してきたために、赤褐色をしている。

Navajo Sandstone の上位には Temple Cap Formation の Sinawava Member が重なっている。本層は海岸域や内陸の、広大なデューン地帯で、北方からの風が卓越していた環境であると考えられている (Blackly, 1994; Peterson, 1994)。また、Utah 北部や Wyoming で見られる Nugget Sandstone, Nevada 南部で見られる Aztec Sandstone と関連が強く、この地域には広大な砂漠が広がっていた (図 4) と考えられている (Kocurek and Dott, 1983; Riggs *et al.*, 1993)。多くの堆積物は、アメリカ東部アパラチア造山帯内に見られる、グレンビル紀 (10～13 億年前) の地殻が、大陸を流れる河川を経て運ばれてきたものである (Dickinson and Gehrels, 2003; Rahl *et al.*, 2003)。層厚は 550～700 m。

Kayenta Formation (ジュラ系下部～三畳系上部)

Kayenta Formation の Member の一部については、区分されない部分もあるが、本論では USGS, [b] の層序に従うものである。

Tenney Canyon Member (ジュラ系下部)

シルト岩、砂岩からなり、まれに石灰岩を含む。細粒砂からなる砂岩に赤褐色～橙色のシルト岩がレンズ状に挟まっている。東方では尖滅し、西方に向けて厚くなる。層厚は 43～95 m。

Lamb Point Member (ジュラ系下部)

石英質砂岩からなり、薄いレンズ状のシルト岩を含む。砂岩は、赤褐色の細粒砂からなり、淘汰がよく、斜交層理が見られる。シルト岩は赤褐色である。場所によっては、層厚 30 cm の石

灰岩の薄層も見られるので、海岸域のデューンやサブハであったと考えられる。層厚は西方に向けて薄くなる傾向がある。層厚は0~18 m。

Main body (ジュラ系下部)

シルト岩, 砂岩, 泥岩からなる。赤褐色のシルト岩, 細粒砂からなる砂岩で, 平板斜交成層やリップルが見られる。数枚の薄い灰色のドロマイト層を含む。河口域で堆積したと考えられ, まれに湖成層も見られる (Tuesink, 1989; Sansom, 1992; Blackly, 1994; Peterson, 1994)。本部層は, 東側のロッキー山脈や南西側の火山地帯からもたらされた堆積物が, 河川により運搬され, 堆積したものである (Chronic and Chronic, 2004) (図 4)。層厚は南部に向けて厚くなる。

Moenave Formation (ジュラ系下部~三畳系上部)

Springdale Sandstone Member (ジュラ系下部)

砂岩からなる。砂岩は中厚層~厚層で, 細粒砂~中粒砂からなり, 斜交層理が見られる。また, まれにレンズ状の層内礫岩や, 赤褐色の泥岩層を挟む。場所によっては, 多量の植物化石や炭酸化化石を含む。北に向かって流れる網状河川で堆積したと考えられ, まれに氾濫原堆積物も見られる (Clemmensen *et al.*, 1989; Blackly, 1994; Peterson, 1994; DeCourter, 1998)。層厚は 27~45 m。

Whitmore Point Member (ジュラ系下部)

主に泥岩からなり, 砂岩やシルト岩も含む。泥岩は赤紫色や緑灰色, 暗赤色で, 砂岩は赤褐色で細粒砂からなる。また層厚 8~120 mm の生物擾乱の見られるやや珪質なドロマイト質石灰岩の層や, 魚化石などが見られる。場所によっては, 下部には下位の Dinosaur Canyon Member に類似した褐色の砂岩層を含むことがある。上位の Springdale Sandstone Member は不整合で重なっている。氾濫原や湖で堆積したと考えられる (Clemmensen *et al.*, 1989; Blackly, 1994; Peterson, 1994; DeCourter, 1998)。層厚は北に向かって薄くなり, 15~40 m。

Dinosaur Canyon Member (ジュラ系下部~三畳系上部)

主に砂岩からなり, シルト岩や泥岩も含む。砂岩は, 赤褐色~橙色で, 砂岩は細粒砂からなる薄層である。泥岩には, リップルや斜交成層が見られる。基底部には, 層厚十数 m の細粒砂からなる砂岩層や, チャートの中礫を含む礫岩層を含む。北に向かって流れる河道やその氾濫原で堆積したと考えられる (Clemmensen *et al.*, 1989; Blackly, 1994; Peterson, 1994; DeCourter, 1998)。層厚は 45~75 m。

Chinle Formation (三畳系上部)

Petrified Forest Member (三畳系上部)

泥岩, シルト岩, 砂岩からなり, まれにチャートや石灰岩のノジュールを含む。泥岩は多彩な色を示すが, 一般的には灰色～紫色である。

Petrified Forest Member は下位より, 以下の3つに分類できる (Lucas, 1993; Woody, 2006)。

- (1) the bentonitic Blue Mesa ; 下部は明灰色で, 細粒砂～中粒砂の砂岩を含む。また珪化木や “cannonball” と呼ばれる大礫～巨礫サイズの砂岩のコンクリーションなども豊富に見られる。
- (2) the pebbly sandstone of the Mossback or Sonsela ; 中部には黄色～褐色の砂岩の薄層や, チャートやコーツァイトの円礫を含んだ岩礫砂岩が見られる。特に砂岩層には珪化木を含む。
- (3) the bentonitic Painted Desert ; 上部には明るい色の泥岩や石灰岩のノジュールが見られ, 上位の Dinosaur Canyon Member の礫岩層が不整合で重なっている。

扇状地, 氾濫原, 湖など, さまざまな環境で堆積したと考えられる。しかもこの地域は北アメリカ西海岸地域の沈み込みに伴う島弧の背弧海盆であったと考えられる (Stewart *et al.*, 1972a; Dickinson *et al.*, 1983; Lucas, 1993; Dubiel 1994; DeCourten, 1998)。層厚は 120～200 m。

Shinarump Conglomerate Member (三畳系上部)

砂岩, 含礫砂岩, 中礫礫岩からなり, 場所によってはシルト質砂岩が見られる。砂岩は中粒砂～粗粒砂からなる。主な碎屑物粒子は, 亜円形のチャート, コーツァイトなどである。場所によっては, リップルや斜交成層の見られる薄層であるが, 多くは平板状や低角状の斜交成層が見られる厚層が広がっている。一般的には酸化鉄や酸化マンガンにより染められているため, 橙色～赤色を示す。また珪化木や珪化した植物破片も見られる。本部層は Arizona 中央の高地から北～北西に向かう網状河川により運搬, 堆積されたものと考えられる (Stewart *et al.*, 1972a; Dubiel 1994; DeCourten, 1998)。層厚は一般的には 30 m 程度であるが, 下位の Moenkopi Formation 上面の古地形により 2～75 m となる場所もある。

Moenkopi Formation (三畳系中部～下部)

Upper Red Member (三畳系中部～下部)

シルト岩, 泥岩, 砂岩からなる。シルト岩, 泥岩層は赤橙色～褐色で, 薄層～中厚層である。砂岩は細粒砂からなり, 平板状～低角状ないし, リップルといった斜交成層構造が見られる。また石膏層も含まれることもある。基底層には層厚 30 m にもなる細粒砂の厚い砂岩層が崖をつくっ

ている。また、上位の Shinarump Conglomerate Member の褐色で粗粒砂からなる含礫砂岩の厚層が不整合で重なっている。潮汐平底や海岸平野で堆積したと考えられる (Stewart *et al.*, 1972b; Dubiel, 1994)。層厚は北東に向かって薄くなり、約 120~180 m。

Shnabkaib Member (三畳系下部)

シルト岩、泥岩、石膏からなり、まれにドロマイト層を含む。シルト岩、泥岩層は淡赤色~赤褐色の薄層で、石膏質である。石膏層は緑灰色、ドロマイト層は灰色で、ラミナの見られる薄層である。潮間帯付近で堆積したと考えられる (Stewart *et al.*, 1972b; Lambert, 1984)。層厚は西方に向かって厚くなり、約 105~150 m。

Middle Red Member (三畳系下部)

シルト岩、泥岩、砂岩からなり、石膏層を挟む。シルト岩、泥岩は斜面を形成し、ラミナが見られる赤褐色~橙色の薄層である。砂岩は細粒砂からなり、緑灰色~白色の石膏層を挟んでいる。潮汐平底で堆積したと考えられる (Stewart *et al.*, 1972b; Dubiel, 1994)。層厚は西方に向けて薄くなり、140~170 m。

Virgin Limestone Member (三畳系下部)

石灰岩やシルト質石灰岩からなる。石灰岩は灰色、緑灰色、褐色で、場所によっては化石層を含む。産出する主な化石は、ウミユリ、腹足類、腕足類などである。浅海の様々な環境で堆積したと考えられる (Stewart *et al.*, 1972b; Dubiel, 1994)。層厚は西方に向けて厚くなり 0~75 m。

Lower Red Member (三畳系下部)

シルト岩、泥岩、砂岩からなり、石膏層を挟む。シルト岩、泥岩は斜面を形成し、ラミナが見られる赤褐色の薄層である。砂岩は細粒砂からなり、ラミナの見られる緑灰色の石膏層を挟んでいる。潮汐平底で堆積したと考えられる (Stewart *et al.*, 1972b; Dubiel, 1994)。層厚は東方に向けて厚くなり、0~90 m。

Timpoweap Member (三畳系下部)

下部は灰色~灰橙色の石灰岩と珪質石灰岩からなる。上部は灰橙色で、石灰質な細粒砂の砂岩や、シルト岩、泥岩の薄層~厚層である。どちらの層もペルム紀~三畳紀の不整合を形成している。また上位には Lower Red Member が整合で重なっている。浅海で堆積したと考えられる (Nielson and Johnson, 1979; Dubiel, 1994)。層厚は 15~55 m (Nielson, 1991)。

Rock Canyon Conglomerate Member (三疊系下部)

礫岩と角礫岩からなる。礫岩は中礫～大礫を含み、基質支持である。含まれる礫はチャートと、まれに石灰岩の円礫である。基質部分は下位にある Kaibab Formation の Harrisburg Member からもたらされたものである。層厚 0～十数 m であるが、古地形によっては層厚 60 m にも達する。角礫岩は広範囲に見られるが、層厚 1～3 m と薄く、Harrisburg Member の上位にレゴリスとして堆積したものである (Nielson, 1991)。上位には Timpoweap Member が整合で重なっている。

Moenkopi Formation 全体を通して、本層を形成する堆積物は、Colorado や New Mexico のロッキー山脈の先カンブリア界の山体からもたらされた砂泥である。片岩・片麻岩を起源とするため、鉄分の多い黒雲母・角閃石に富むという特徴がある。また Zion 地域はこの時代、温暖で湿潤な気候であり、海岸線からも大変近かったと考えられ、何度か水面下に沈んでいる。石灰岩や岩塩、石膏などは、その際に形成されたものである (Chronic and Chronic, 2004)。

Kaibab Formation (ペルム系下部)

Harrisburg Member (ペルム系下部)

石灰岩、珪質石灰岩、石膏、石膏質泥岩からなる。石灰岩は薄層～厚層、石膏層は中厚層～厚層でラミナが見られる。ペルム紀後期～三疊紀前期にかけての侵食の結果、Kaibab Formation 上面には古地形面の凹凸が形成され、河床は深さ十数 m、深いところでは百数十 m にまで発達した。そしてその上位には、河川により運ばれた Rock Canyon Conglomerate Member の角礫岩が不整合で重なっている (古地形での高地では Timpoweap～Virgin Limestone Member が上位に重なる)。浅海で堆積したと考えられる (McKee, 1938; Nielson, 1981, 1986; Sorauf and Billingsley, 1991)。ペルム紀～三疊紀の不整合形成時の侵食により、層厚は 0～100 m の幅となる (Nielson, 1981)。

Fossil Mountain Member (ペルム系下部)

石灰岩、珪質石灰岩からなり、岩相的には一様である。石灰岩は淡灰色の厚層で、化石を含む。産出する化石は腕足類、苔虫類、ウミユリなどである。赤褐色～黒色の層状チャートやチャートのノジュールも見られる。浅海で堆積したと考えられる (McKee, 1938; Nielson, 1981, 1986; Sorauf and Billingsley, 1991)。層厚もほぼ一定で 60～90 m (Nielson, 1981)。

Toroweap Formation (ペルム系下部)

Woods Ranch Member (ペルム系下部)

ドロマイトやチャート, 石膏, 泥岩, シルト岩, 砂岩からなる。黄灰色ドロマイトや黒色チャートはラミナの入った薄層で, 石膏は塊状である。Harricane Criffs では層内礫岩が露出している。浅海やサブハなどで堆積し, 複雑に混ざり合った状態で見られる (McKee, 1938; Rawson and Turner-Peterson, 1979, 1980; Nielson, 1981, 1986)。層厚は Harricane Criffs において 35~98 m (Nielson, 1981)。

Brady Canyon Member (ペルム系下部)

石灰岩, 珪質石灰岩からなり, 岩相的には一様である。石灰岩は淡灰色の中粒~粗粒状であり, 化石を含む厚層である。産出する化石は腕足類, 苔虫類, ウミユリなどである。層状チャートやチャートのノジュールを含む。また, 浅海で堆積したと考えられる (McKee, 1938; Rawson and Turner-Peterson, 1979, 1980; Nielson, 1981, 1986)。層厚は Beaver Dam Mountains においては 75 m, Harricane Criffs においては 48~75 m (Nielson, 1981)。

おわりに

本論では Biek, *et al.* (2007) を参考に Zion N. P. で見られる地層を中心に層序の記載を行なった。特に図 4 にて層序の記載をまとめたが, これは現地での観察の際の助けとなるとともに, 今後, コロラド高原を中心とした地域の地質形成史を解明するための基礎となる。さらに, 同様の記載を様々な地点で行なうことにより, さらにアメリカ南西部における地質学的理解につながるものである。

引用文献

- Beitler, Brenda, Chan, M. A., and Parry, W. T., 2003, Bleaching of Jurassic Navajo Sandstone on Colorado Plateau Laramide highs – evidence of exhumed hydrocarbon supergiants?: *Geology*, Vol. 31, No. 12, pp. 1041-1044.
- Biek, R. F., in preparation, Geologic map of the Kolob Reservoir quadrangle, Washington and Iron Counties, Utah: Utah Geological Survey Map 220, 2 plates, scale 1: 24,000.
- 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, Meso-

- zoic systems of the Rocky Mountain region, USA: Denver, Colorado, Rocky Mountain Section of the Society for Sedimentary Geology, pp. 273–298.
- Blakey, R. C., Peterson, Fred, Caputo, M. V., Geesman, R. C., and Voorhees, B. J., 1983, Paleogeography of Middle Jurassic continental, shoreline, and shallow marine sedimentation, southern Utah, in Reynolds, M. W., and Dolley, E. D., editors, Mesozoic paleogeography of west-central United States: Denver, Colorado, Rocky Mountain Section of Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, pp. 77–100.
- Chronic, H. and Chronic, L. M., 2004, Pages of Stone: Geology of Grand Canyon & Plateau Country National Parks & Monuments, Mountaineers Books, p. 176.
- Clemmensen, L. B., Olsen, Henrik, 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.
- DeCourten, Frank, 1998, Dinosaurs of Utah: Salt Lake City, University of Utah Press, p. 300.
- Dickinson, W. R., Beard, S. L., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A., and Ryberg, P. T., 1983, Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting: Geological Society of America Bulletin, Vol. 94, pp. 222–235.
- Dickinson, W. R., and Gehrels, G. E., 2003, U-Pb ages of detrital zircons from Permian and Jurassic eolian sandstones of the Colorado Plateau, USA – paleogeographic implications: Sedimentary Geology, Vol. 163, issues 1–2, pp. 29–66.
- 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.
- Gustason, E. R., 1989, Stratigraphy and sedimentology of the middle Cretaceous (Albian-Cenomanian) Dakota Formation, southwestern Utah: Boulder, Colorado, University of Colorado, Ph.D. dissertation, p. 376.
- Hintze, L. F., 1997, Utah Geologic highway map with a topographic map that shows western park: Department of Geology, Brigham Young University, provo, Utah 84602.
- Imlay, R. W., 1980, Jurassic paleobiogeography of the conterminous United States in its continental setting: U. S. Geological Survey Professional Paper 1062, p. 134.
- 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.
- Lambert, R. E., 1984, Shnabkaib Member of the Moenkopi Formation – depositional environment and stratigraphy near Virgin, Washington County, Utah: Brigham Young University Geology Studies, Vol. 31, pt. 1, pp. 47–65.
- Laurin, Jiri, and Sageman, B. B., 2001, Tectono-sedimentary evolution of the western margin of the Colorado Plateau during the latest Cenomanian and early Turonian, in Erskine, M. C., editor and Faulds, J. E., Bartley, J. M., and Rowley, P. D., co-editors, The geologic transition, High Plateaus to Great Basin – a symposium and field guide, The Mackin Volume: Utah Geological

- Association Publication 30 and Pacific Section American Association of Petroleum Geologists Publication GB 78, pp. 57-74.
- Lucas, S. G., 1993, The Chinle Group – revised stratigraphy and biochronology of Upper Triassic nonmarine strata in the western United States, in Morales, M., editor, Aspects of Mesozoic geology and paleontology of the Colorado Plateau: Museum of Northern Arizona Bulletin 59, pp. 27-50.
- McKee, E. D., 1938, The environment and history of the Toroweap and Kaibab Formations of northern Arizona and southern Utah: Carnegie Institute of Washington Publication 492, p. 268.
- Nielson, R. L., 1981, Depositional environment of the Toroweap and Kaibab Formations of southwestern Utah: Salt Lake City, University of Utah, Ph.D. dissertation, p. 495.
- 1986, The Toroweap and Kaibab Formations, southwestern Utah, in Griffen, D. T., and Phillips, W. R., editors, Thrusting and extensional structures and mineralization in the Beaver Dam Mountains, southwestern Utah: Utah Geological Association Publication 15, pp. 37-53.
- 1991, Petrology, sedimentology and stratigraphic implications of the Rock Canyon Conglomerate, southwestern Utah: Utah Geological Survey Miscellaneous Publication 91-7, p. 65.
- Nielson, R. L., and Johnson, J. L., 1979, The Timpoweap Member of the Moenkopi Formation, Timpoweap Canyon, Utah: Utah Geology, Vol. 6, No. 1, pp. 17-27.
- 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, Fred, 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.
- Rahl, J. M., Reiners, P. W., Campbell, I. H., Nicolescu, Stefan, Allen, C. M., 2003, Combined single-grain (U-Th)/He and U-Pb dating of detrital zircons from the Navajo Sandstone, Utah: Geology, Vol. 31, No. 9, pp. 761-764.
- Rawson, R. R., and Turner-Peterson, C. E., 1979, Marine-carbonate, sabkha, and eolian facies transitions within the Permian Toroweap Formation, northern Arizona, in Baars, D. L., editor, Permianland: Four Corners Geological Society Guidebook, 9th Field Conference, pp. 87-99.
- 1980, Paleogeography of northern Arizona during the deposition of the Permian Toroweap Formation, in Fouch, T. D., and Magathan, E. R., editors, Paleozoic paleogeography of the west-central United States, Rocky Mountain Symposium 1: Denver, Colorado, Rocky Mountain Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, pp. 341-352.
- 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.
- Sansom, P. J., 1992, Sedimentology of the Navajo Sandstone, southern Utah, USA: Oxford, England, Department of Earth Sciences and Wolfson College, Ph.D. dissertation, p. 291.
- Sorauf, J. E., and Billingsley, G. H., 1991, Members of the Toroweap and Kaibab Formations, Lower Permian, northern Arizona and southwestern Utah: The Mountain Geologist, Vol. 28, No. 1, pp. 9-24.
- Stewart, J. H., Poole, F. G., and Wilson, R. F., 1972a, 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.

——— 1972b, Stratigraphy and origin of the Triassic Moenkopi Formation and related strata in the Colorado Plateau region, with a section on sedimentary petrology by R. A. Cadigan: U. S. Geological Survey Professional Paper 691, p. 195, scale 1: 2,500,000.

Tibert, N. E., Leckie, R. M., Eaton, J. G., Kirkland, J. I., Colin, Jean-Paul, Leithold, E. L., and McCormic, M. E., 2003, Recognition of relative sea-level change in Upper Cretaceous coal-bearing strata – a paleoecological approach using agglutinated foraminifera and ostracods to detect key stratigraphic surfaces, in Olsen, H. C., and Leckie, R. M., editors, *Micropaleontologic proxies for sea-level change and stratigraphic discontinuities*: Society for Sedimentary Geology Special Publication No. 75, pp. 263–299.

Tuesink, M. F., 1989, Depositional analysis of an eolian-fluvial environment – the intertonguing of the Kayenta Formation and Navajo Sandstone (Jurassic) in southwestern Utah: Flagstaff, Northern Arizona University, M. S. thesis, p. 189.

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

Utah Geological Survey, [a], Utah's Geologic History: <http://geology.utah.gov/online/pdf/pi-19.pdf>

Utah Geological Survey, [b], What is the Grand Staircase?: <http://geology.utah.gov/online/pdf/pi-64.pdf>

Wilkens, N., Farmaer, J. D., Pigg, K. B., 2007, Paleogeology of Jurassic Navajo sandstone interdune environments, Geological Society of America Meeting Session 160.

Woody, D. T., 2006, Revised stratigraphy of the lower Chinle Formation (Upper Triassic) of Petrified Forest National Park, Arizona, in Parker, W. G., Ash, S. R., and Irmis, R. B., editors, *A century of research at Petrified Forest National Park – Geology and paleontology*: Museum of Northern Arizona Bulletin No. 62, pp. 17–45.