

Deposition, exhumation, and paleoclimate of an ancient lake deposit, Gale crater, Mars

J. P. Grotzinger,* S. Gupta, M. C. Malin, D. M. Rubin, J. Schieber, K. Siebach, D. Y. Sumner, K. M. Stack, A. R. Vasavada, R. E. Arvidson, F. Calef III, L. Edgar, W. F. Fischer, J. A. Grant, J. Griffes, L. C. Kah, M. P. Lamb, K. W. Lewis, N. Mangold, M. E. Minitti, M. Palucis, M. Rice, R. M. E. Williams, R. A. Yingst, D. Blake, D. Blaney, P. Conrad, J. Crisp, W. E. Dietrich, G. Dromart, K. S. Edgett, R. C. Ewing, R. Gellert, J. A. Hurowitz, G. Kocurek, P. Mahaffy, M. J. McBride, S. M. McLennan, M. Mischna, D. Ming, R. Milliken, H. Newsom, D. Oehler, T. J. Parker, D. Vaniman, R. C. Wiens, S. A. Wilson

SCIENCE sciencemag.org 9 OCTOBER 2015 •
VOL 350 ISSUE 6257

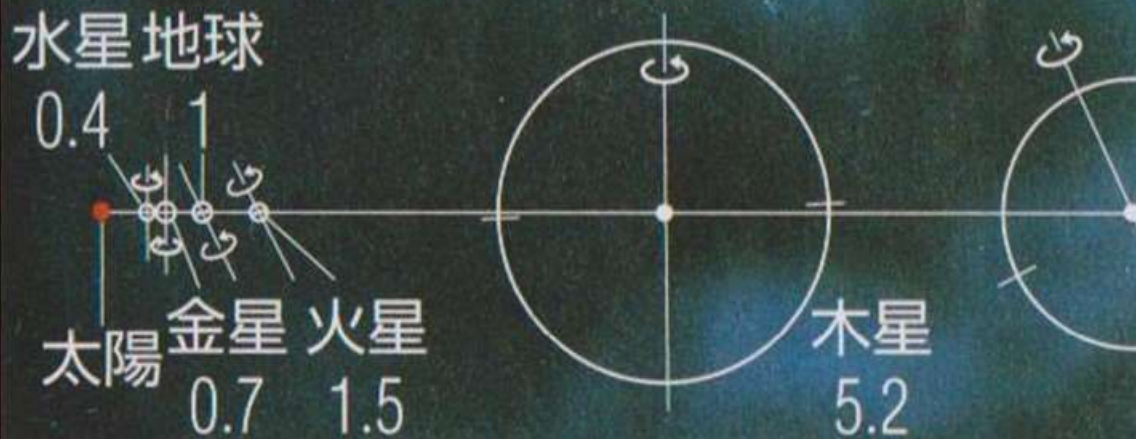
The landforms of northern Gale crater on Mars expose thick sequences of sedimentary rocks. Based on images obtained by the Curiosity rover, we interpret these outcrops as evidence for past fluvial, deltaic, and lacustrine environments. Degradation of the crater wall and rim probably supplied these sediments, which advanced inward from the wall, infilling both the crater and an internal lake basin to a thickness of at least 75 meters. This intracrater lake system probably existed intermittently for thousands to millions of years, implying a relatively wet climate that supplied moisture to the crater rim and transported sediment via streams into the lake basin. The deposits in Gale crater were then exhumed, probably by wind-driven erosion, creating Aeolis Mons (Mount Sharp).

火星のゲールクレーターの北部には厚い堆積岩が露出している。探査機Curiosityの得た画像から、露頭に見られる地層は過去の河川、デルタ、湖の存在を示唆すると解釈した。堆積物はクレーターの壁や縁辺の風化・崩壊から供給されたと思われ、クレーターとクレーター内の湖に厚さ75 m以上の地層を堆積した。このクレーター内の湖システムは“東の間”―数千年から数百万年間―に存在したもので、比較的湿潤な気候を示唆し、クレーターの縁辺域に水蒸気を供給し、河川をつくり、堆積物を湖にもたらした。ゲールクレーターの堆積物は、その後、風による浸食で掘られ、掘り出された粒子で風成丘(Mount Sharp)ができた。

地球と火星の比較

(数字)：体積(地球=1)
衛星の数は代表的なものを示してある。

太陽からの距離と自転軸



地学図表を改変

火星(Mars)
(0.151)



月(Moon)
(0.0203)

地球(Earth)
(1.000)

水星(Mercury)
(0.056)

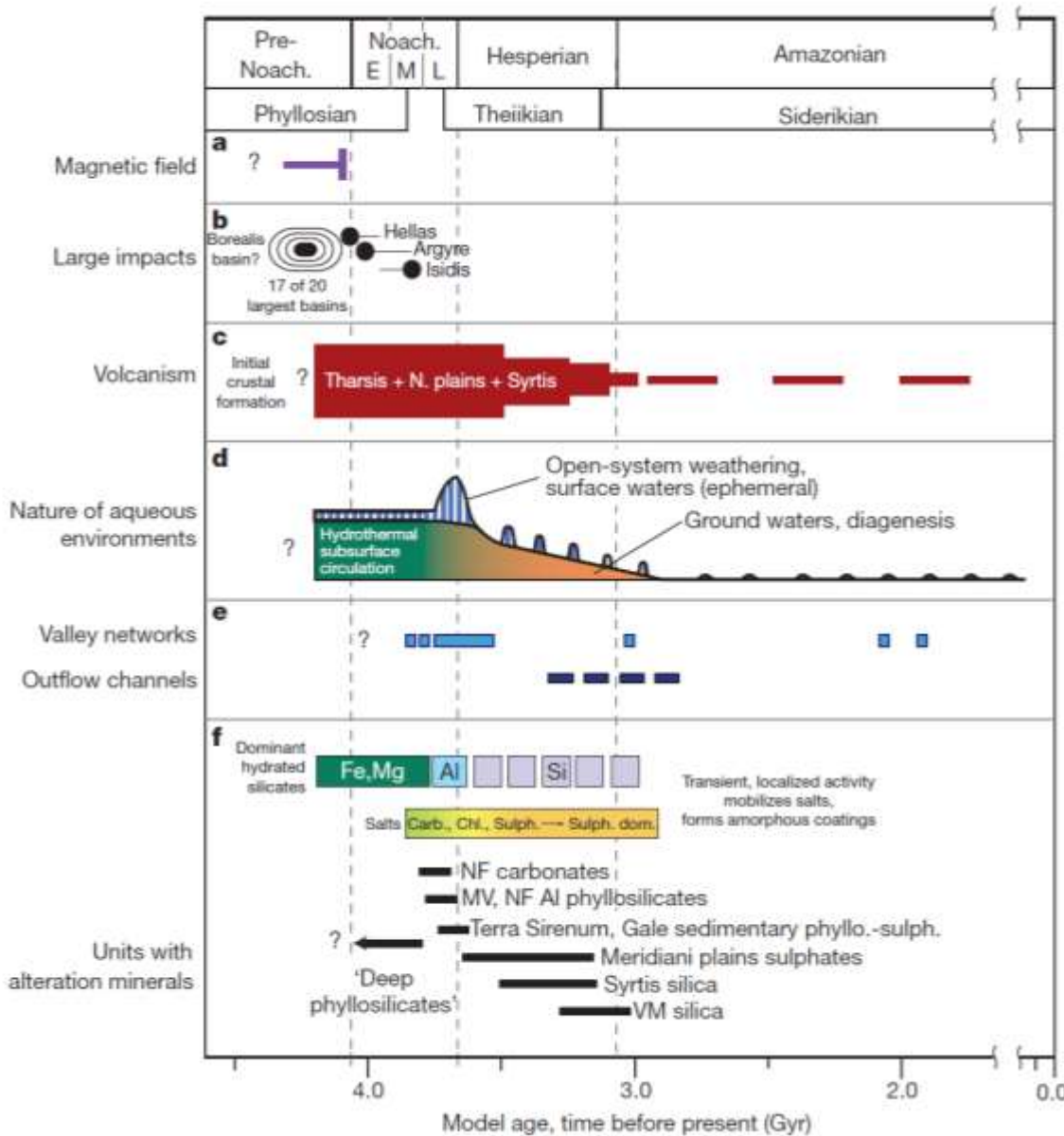
金星(Venus)
(0.857)

地球と火星の比較

Planet	Atmospheric Pressure	Atmospheric Composition	Surface Temperature
 MARS	6 - 10 mbar	Carbon Dioxide - 95.32 % Nitrogen - 2.70 % Argon - 1.60 % Oxygen - 0.13 %	-60° C
 EARTH	1000 mbar	Nitrogen - 75.52 % Oxygen - 23.13 % Argon - 1.29 % Carbon Dioxide - 0.05 %	15° C

<http://illuminate.usc.edu/59/terraforming-mars/>

火星の地質時代



・ノアキス代
(Noachian)
液体の水の存在を示す鉱物学的・地形学的証拠(例えば, バレーネットワーク)がある。

・ヘスペリア代
(Hesperian)
大規模洪水があり, 温泉や火山活動の増加を示唆する。

初期火星はかなりの量の水があり、大きなクレーター、バレーネットワーク、北半球規模の平原に水域があった。だが、モデルでは、現在よりも湿潤だったが、湖が長期的に維持されることはなく、隕石衝突や火山噴火による高熱で、ごく短期間、水域ができた。





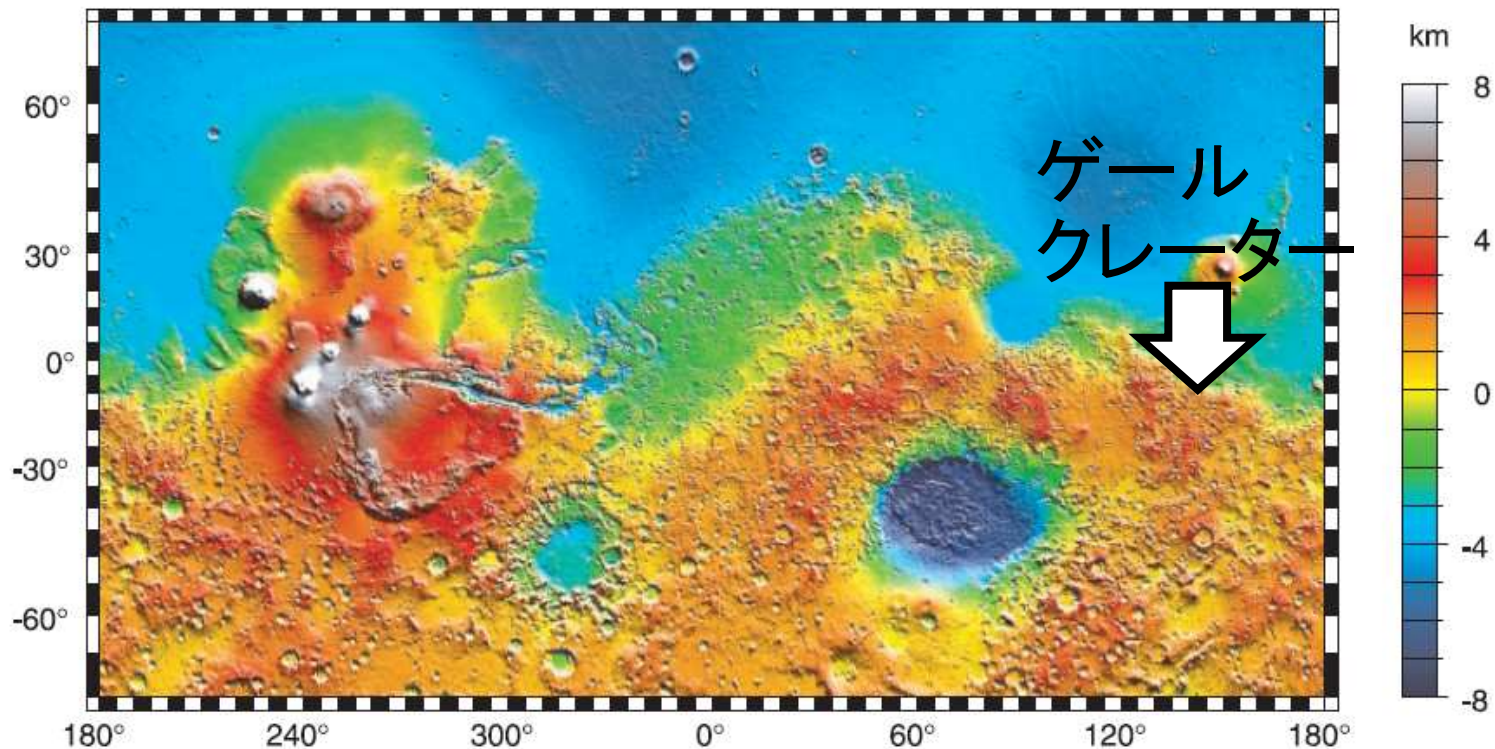
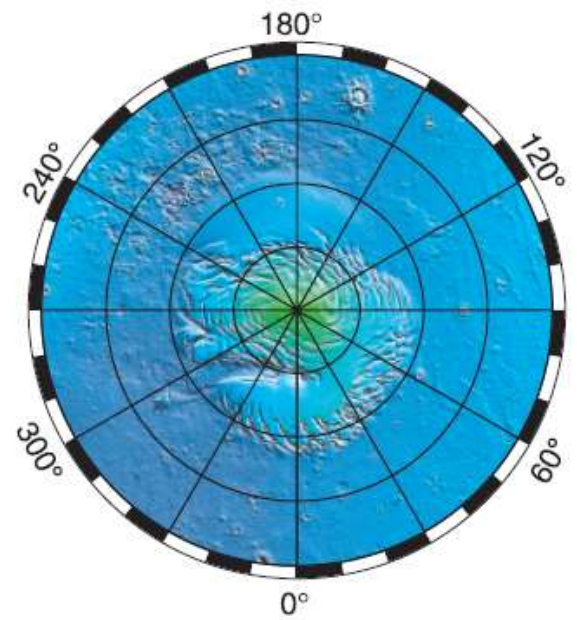
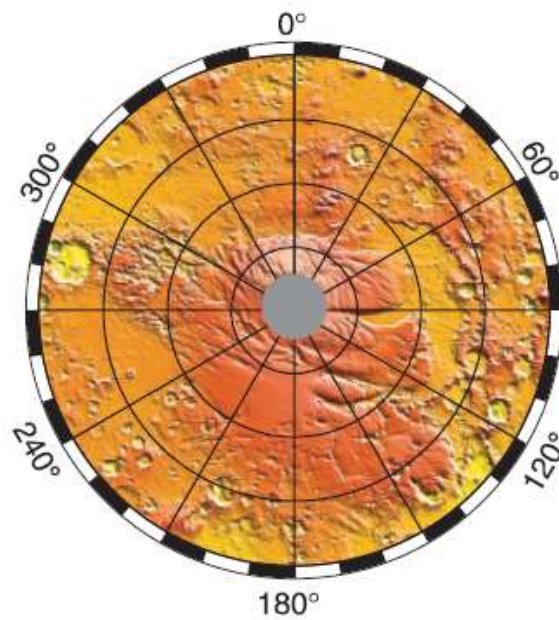
ゲールクレーター

Google Earth

Mars

Image NASA / USGS
ESA / DLR / FU Berlin (G Neukum)

火星の二分性
北半球は低い
平原が広がる
のに対して、
南半球は起伏
の激しい地形
が広がる。



NASA/JPL-Caltech/MSSS

長さ2.9 m

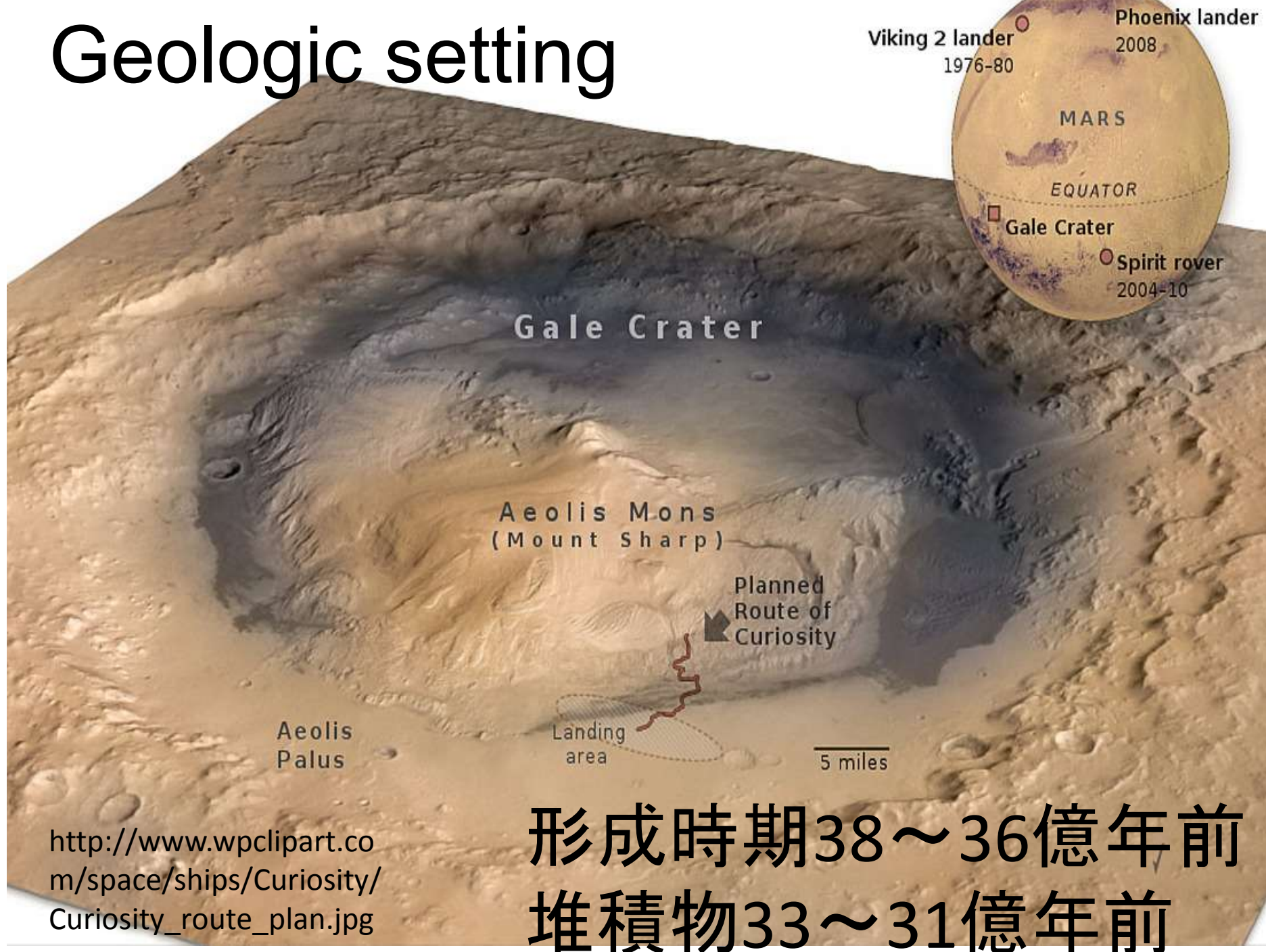


探査機ローバー 愛称キュリオシ ティ (Curiosity)

2012年8月6日

ゲールクレーターの中
に着陸. 着陸地点は,
2ヶ月前に亡くなった小説家
のレイ・ブラッドベリに因み
「Bradbury Landing」と命名.

Geologic setting



http://www.wpclipart.com/space/ships/Curiosity/Curiosity_route_plan.jpg

形成時期38~36億年前
堆積物33~31億年前

調査地域の地層は
Bradburyグループ、
Mount Sharpグループに
 区分される。

Mount Sharpグループ
 の最下位はMurray層、
 赤鉄鉱質ユニット、粘土
 質ユニット、含イオウ堆
 積物のユニットが重なる。

・下位層は含水鉱物を含
 むが、上位層は含水鉱
 物を含まないようである。

Bradburyグループはほ
 ぼ水平。

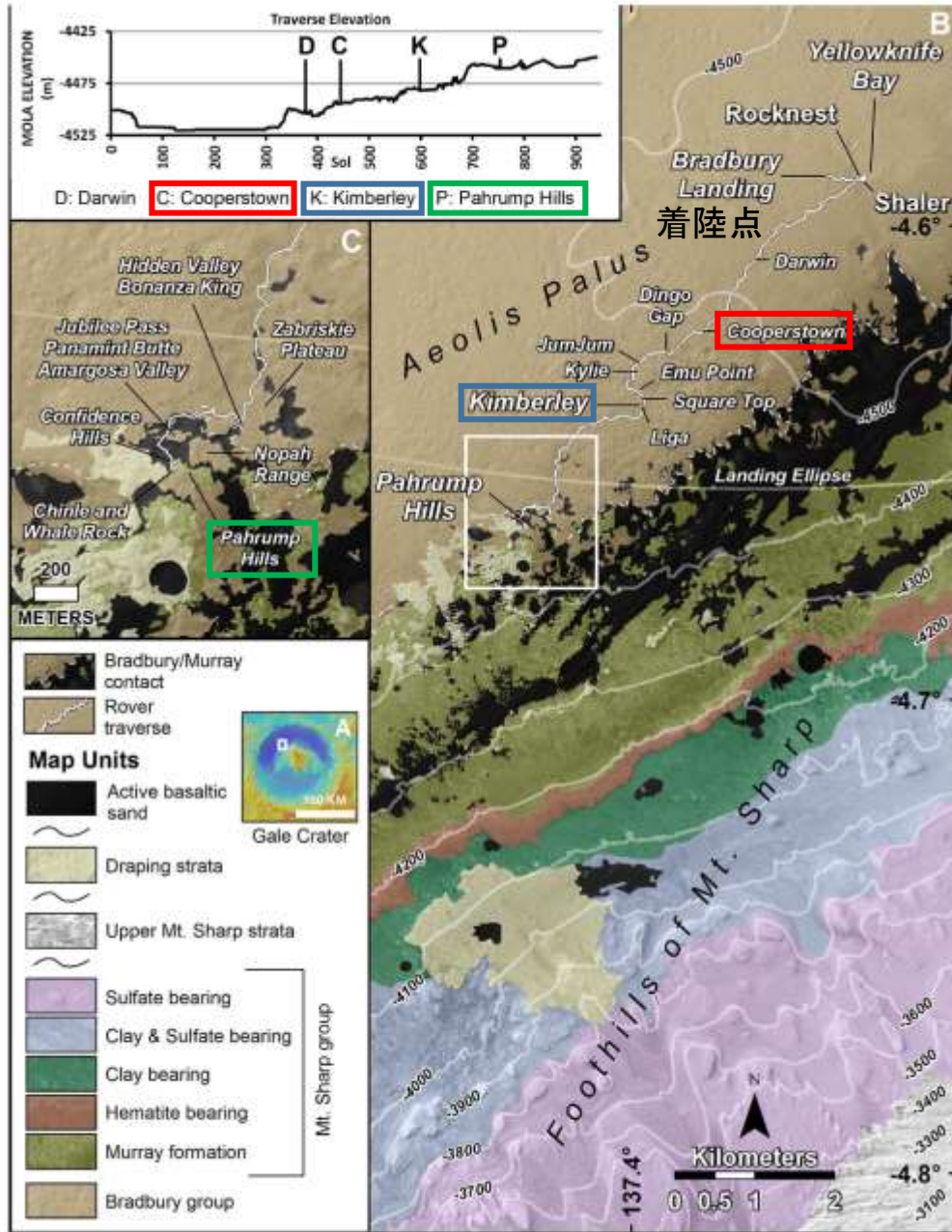


Fig. 1 先行研究も含めて作成された地質図

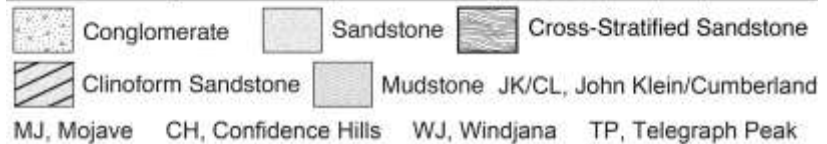
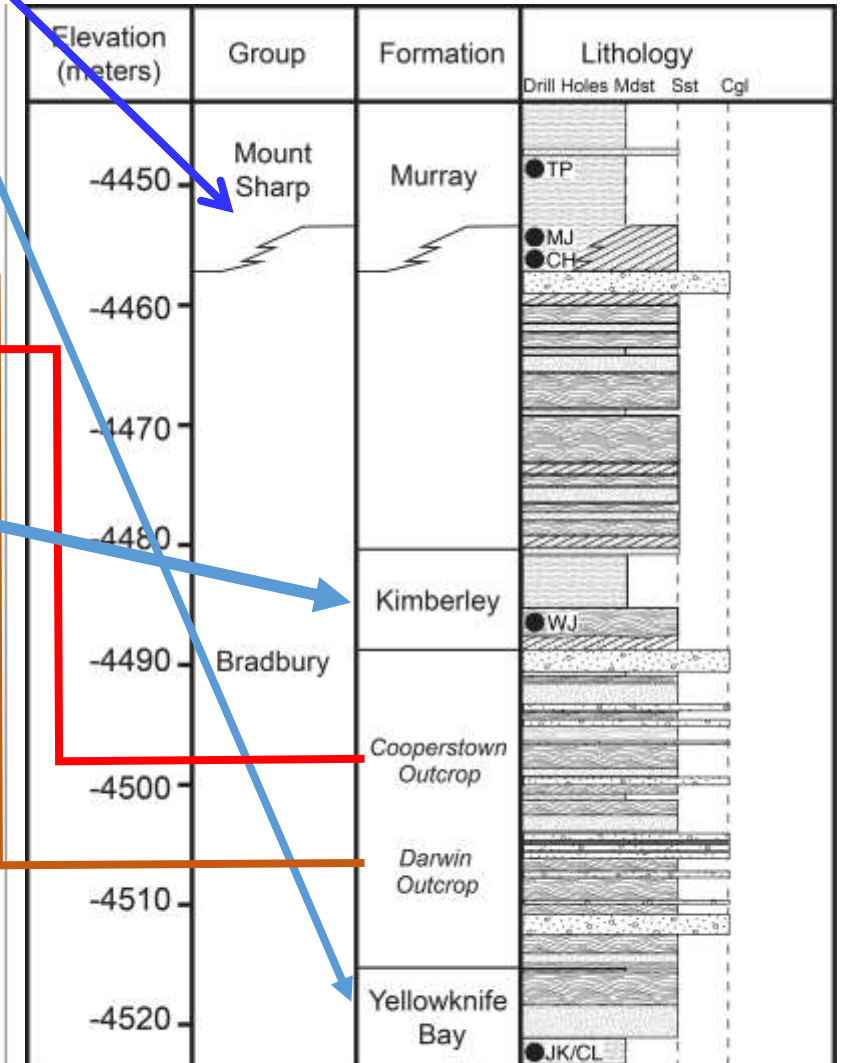
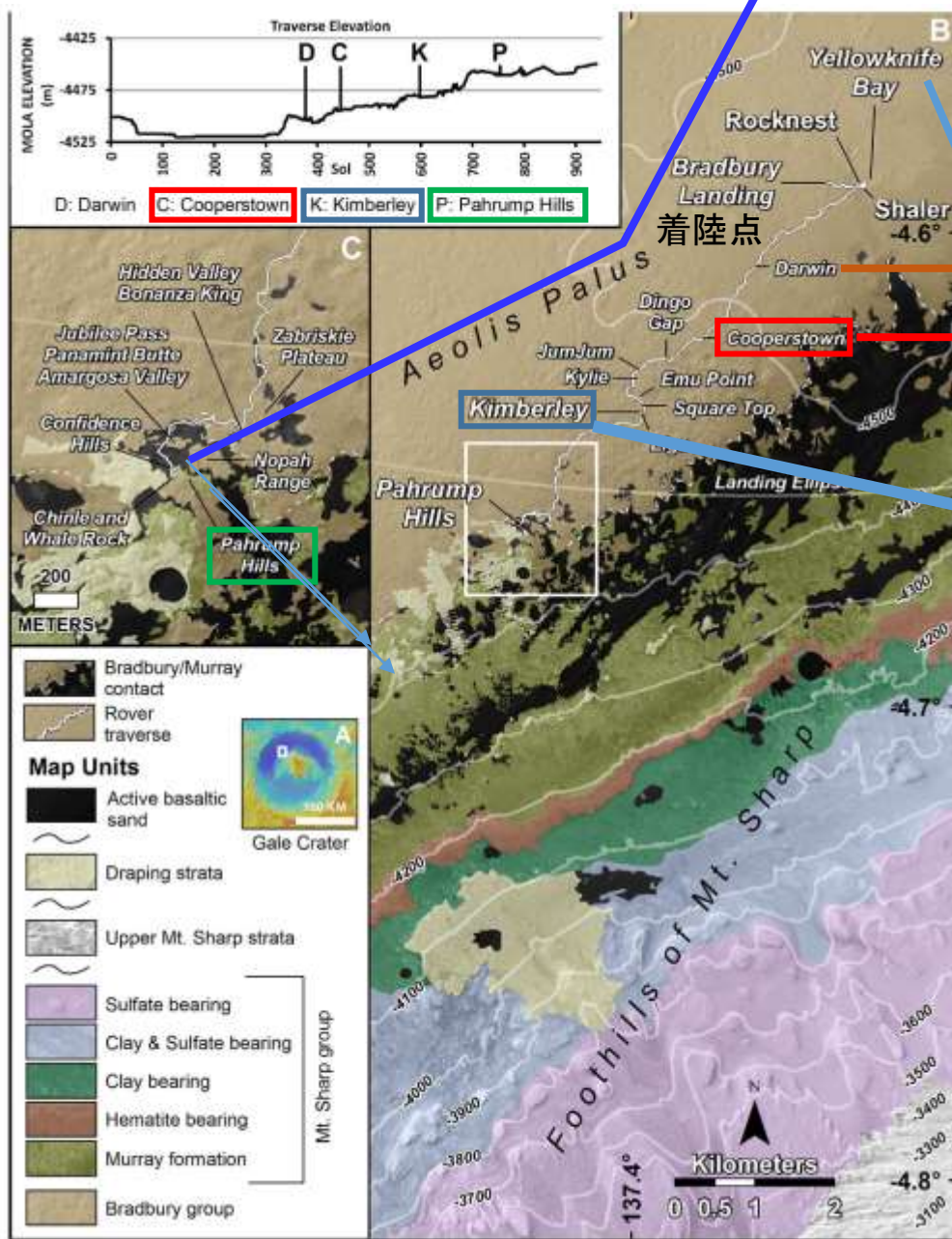


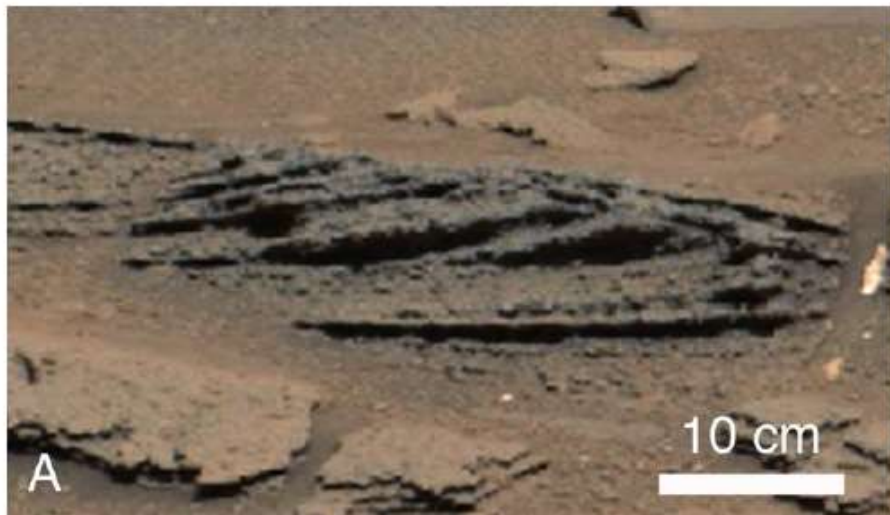
Fig. 2. Stratigraphic column for the sedimentary facies from Yellowknife Bay to Pahrump Hills.

Fig. 1 先行研究も含めて作成された地質図

Bradburyグループ

- ・泥岩, 層理を持つ砂岩, 礫質砂岩, 礫岩, 斜めにたまった砂岩.

- ・平行層理ないし斜交層理を持つ砂岩は, 淘汰は悪・中程度, 細粒~粗粒砂岩で, 層厚数10cmのトラフ型斜交層理などを有す.



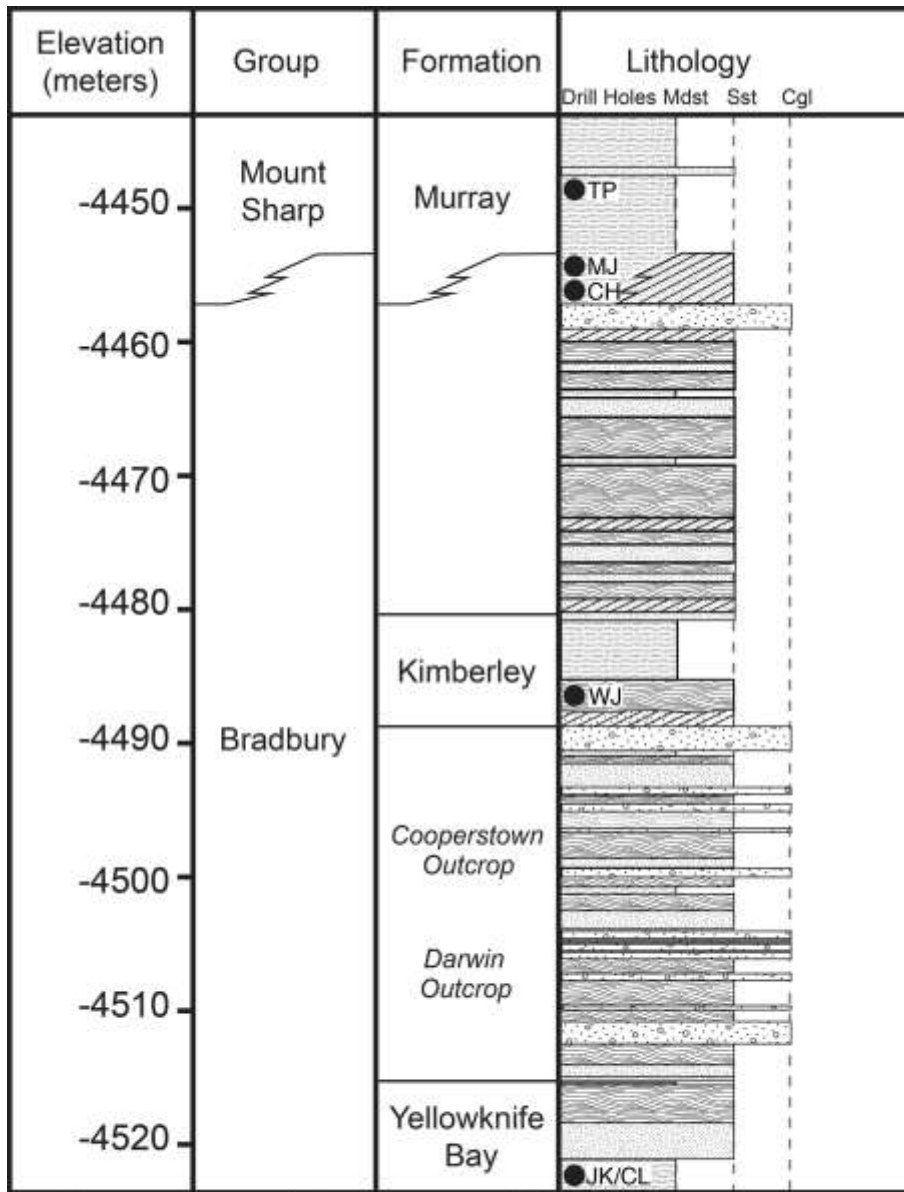
礫質砂岩は淘汰が悪く, 礫径は22 mmに達し, 亜角礫から亜円礫. 礫支持(grain-supported)だが, 礫の配列には方向性は見られない.



礫層は弱い成層構造を示し, 淘汰が悪く, 角礫から亜円礫を含む. 礫径は6 cm. 各礫層の層厚は10-30 cm.



Fig. S2



Conglomerate Sandstone Cross-Stratified Sandstone
 Clinoform Sandstone Mudstone JK/CL, John Klein/Cumberland
 MJ, Mojave CH, Confidence Hills WJ, Windjana TP, Telegraph Peak

解釈

粒子支持と礫質砂岩，礫層，斜交層理が普通に見られることから，河川システムのベッドロード堆積運搬 (bedload sediment transport) . 礫の中程度の円磨度は運搬距離の短さを反映し，河川ファンを示唆.

堆積面が傾斜していた砂岩(clinoform sandstone)
明瞭な溝状構造があり, orbital striated outcrop (OSO)と命名.
溝は反射率から検出, N65 Eのトレンド, 長さは100 m.

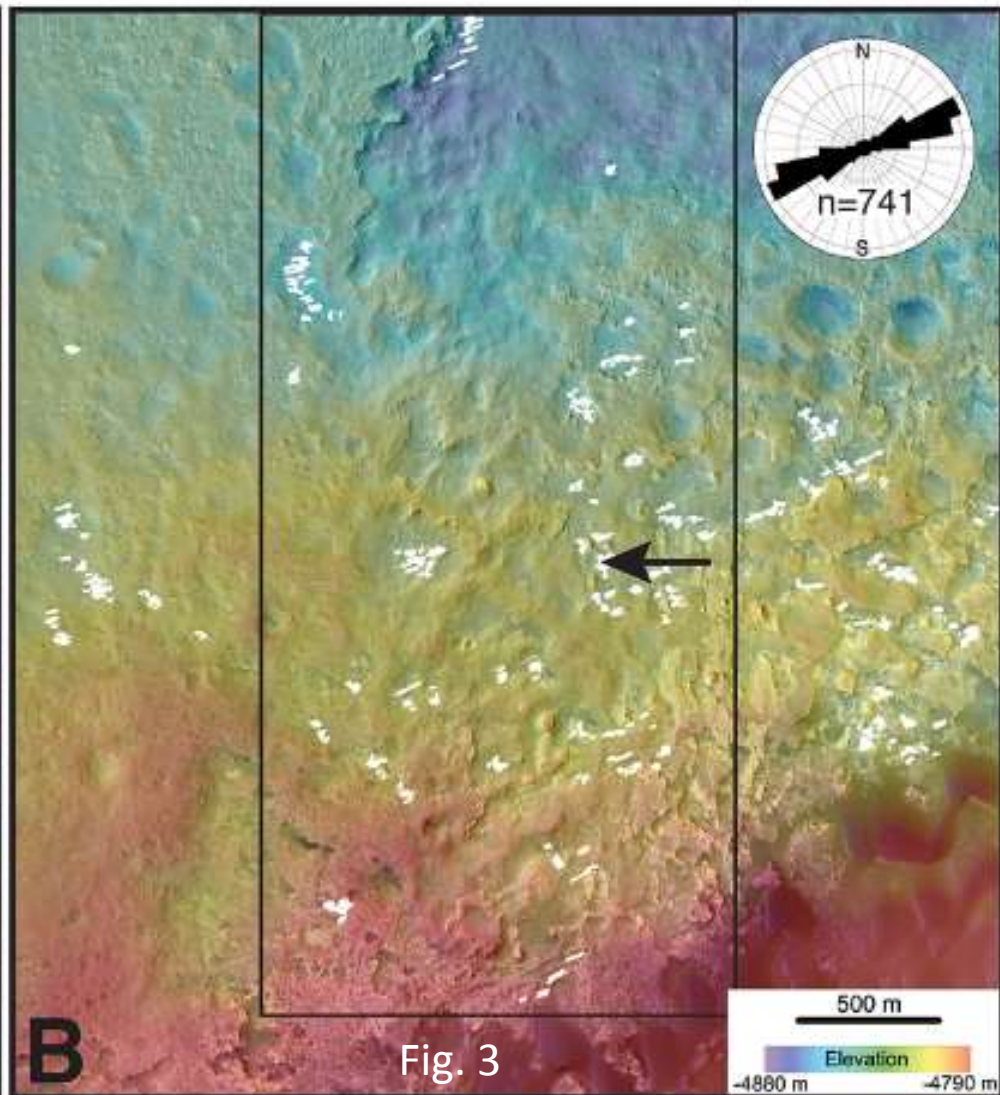
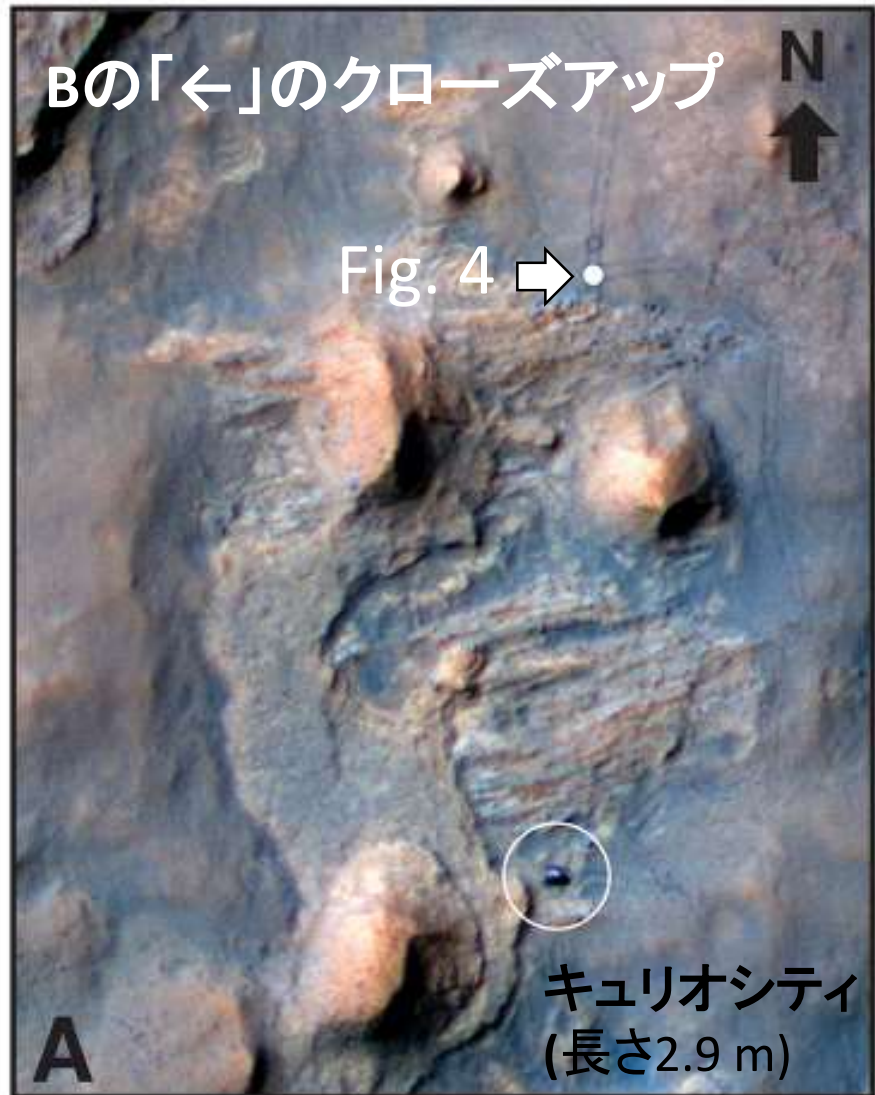
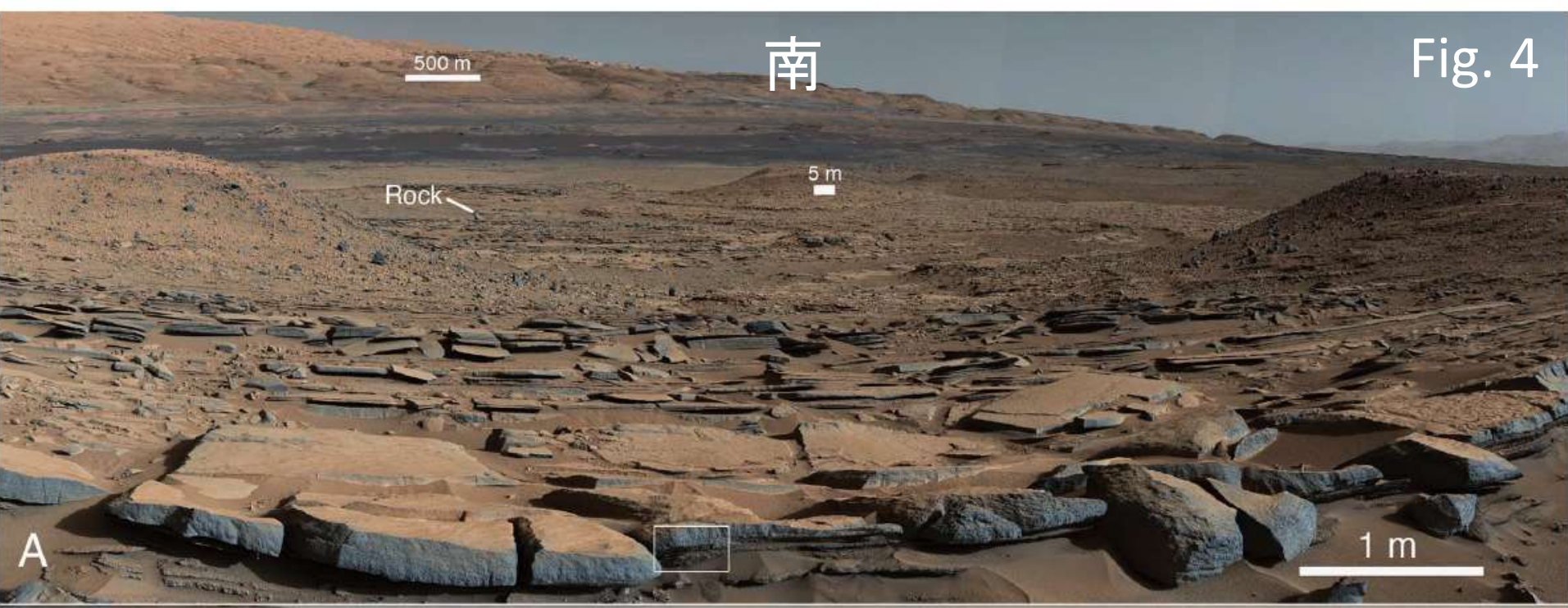
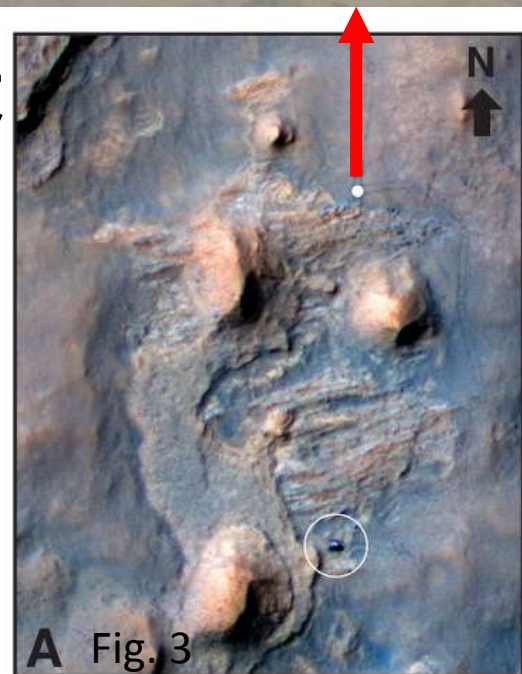
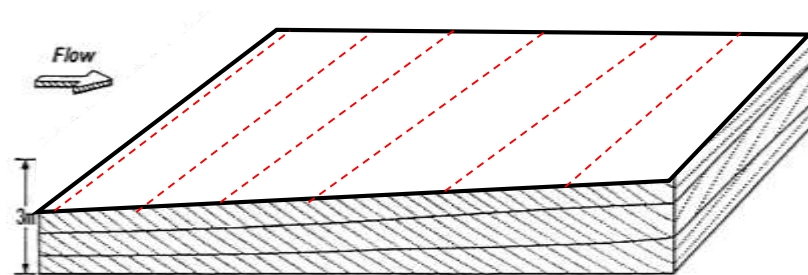


Fig. 4



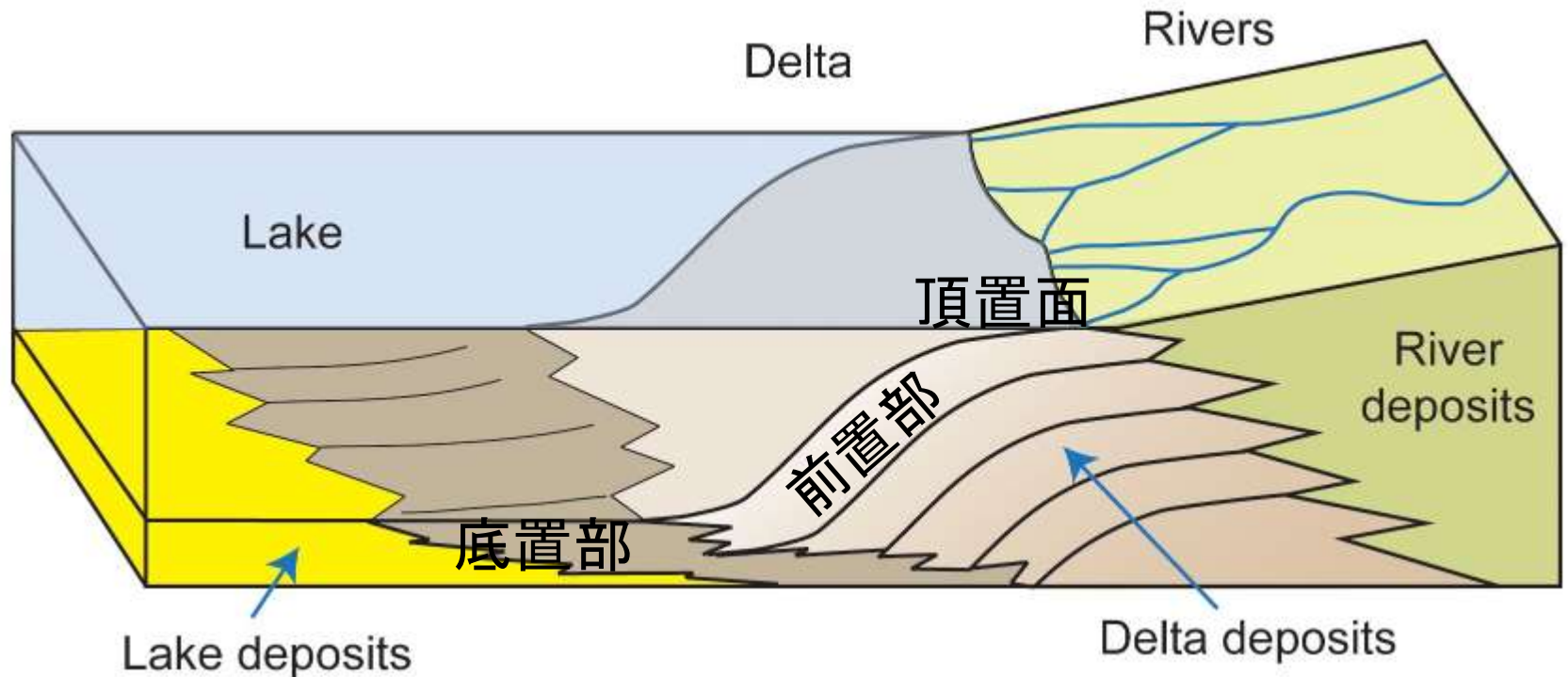
溝状構造は，傾いた層理面と地表面の交線で，地層の傾斜を示唆．傾斜は南方向10-20度，1枚の地層の厚さは1-4 m.



細粒砂岩からなり，礫径0.5～4.7 mmの亜円礫～円礫を含む．粗粒粒子は，風よりも水の運搬を示唆．

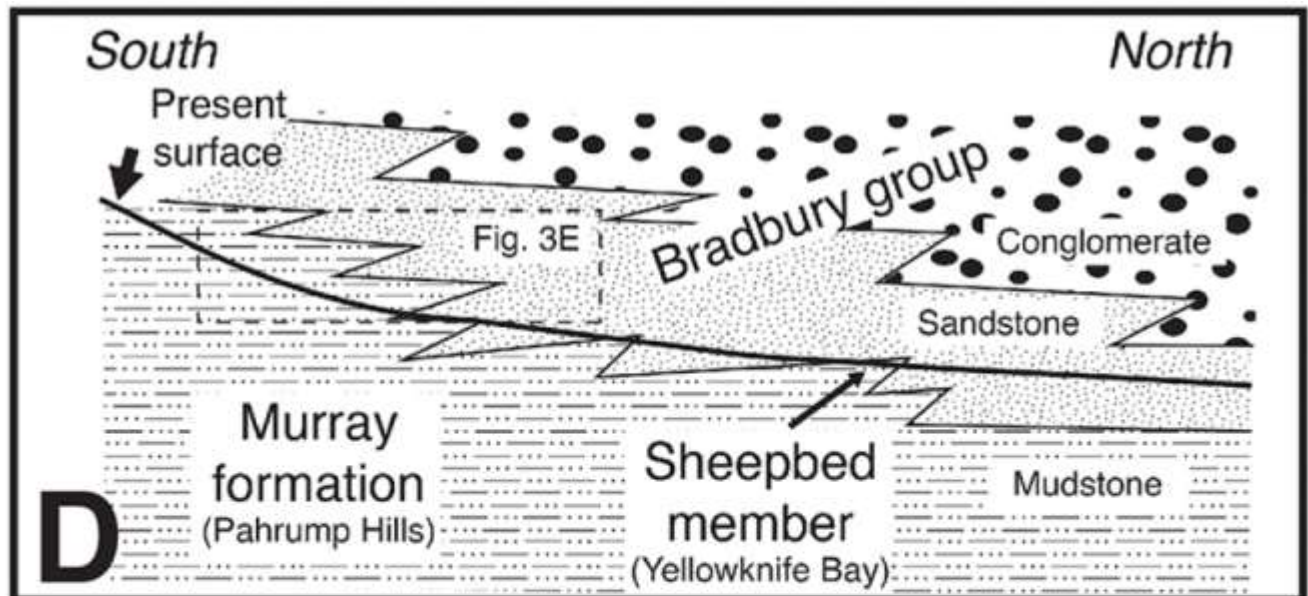


類似の堆積環境—ファンデルター—
急勾配の水中斜面を形成し，頂置部
(topset)，前置部(foreset)，底置部
(bottomset)に3分され，各斜面を頂置面，
前置面，底置面斜面という。

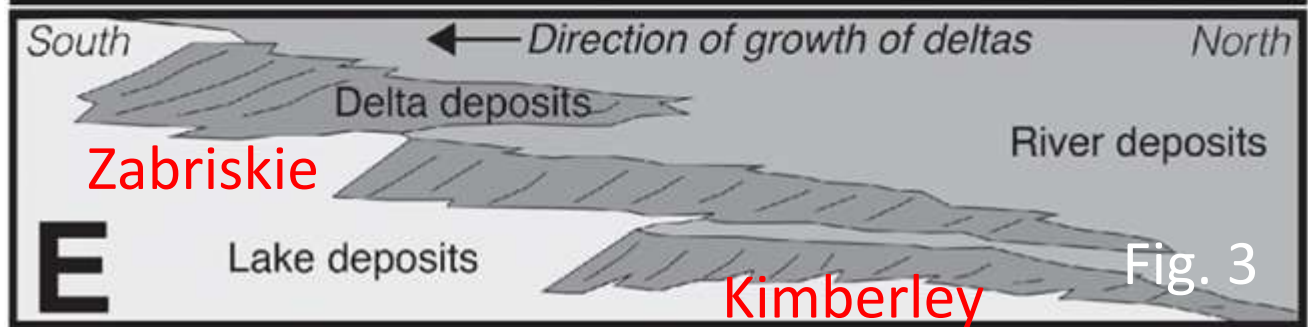


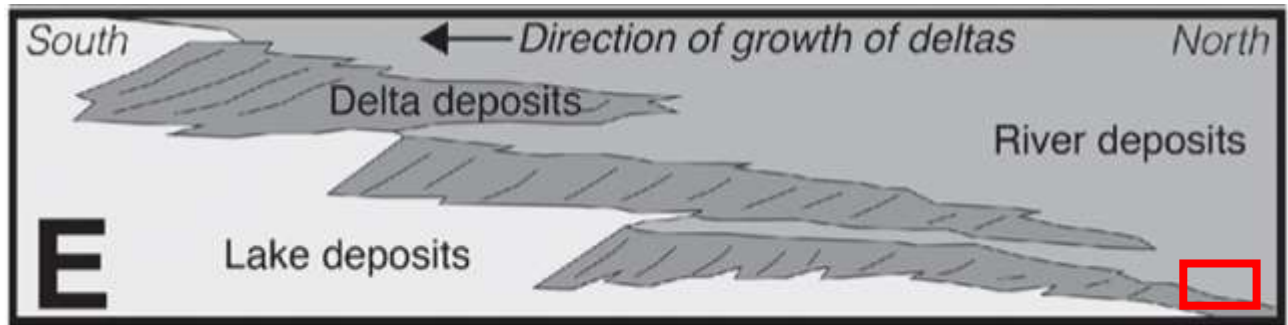
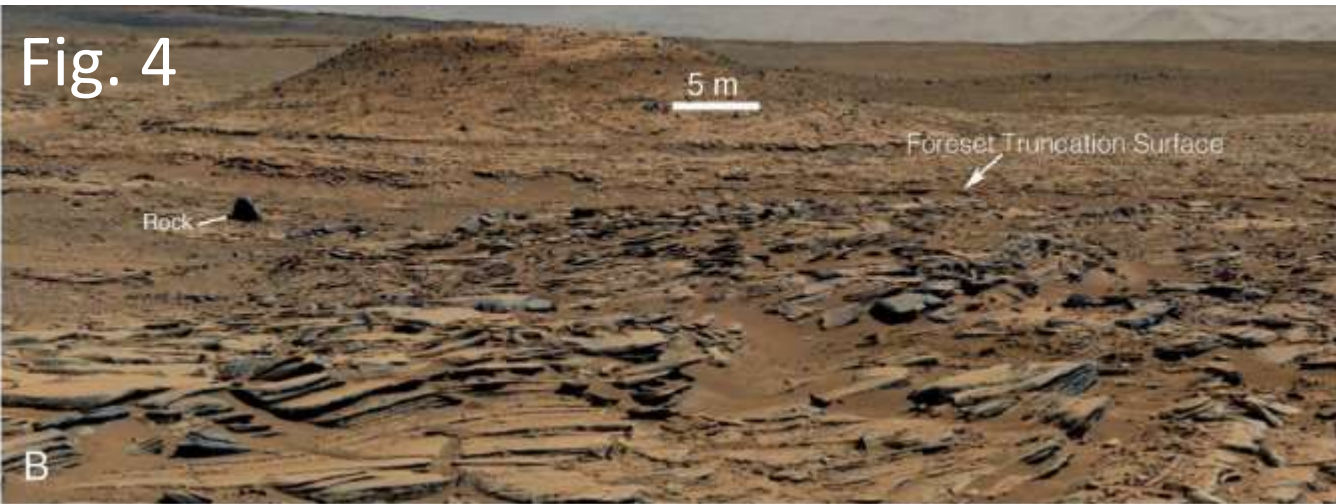
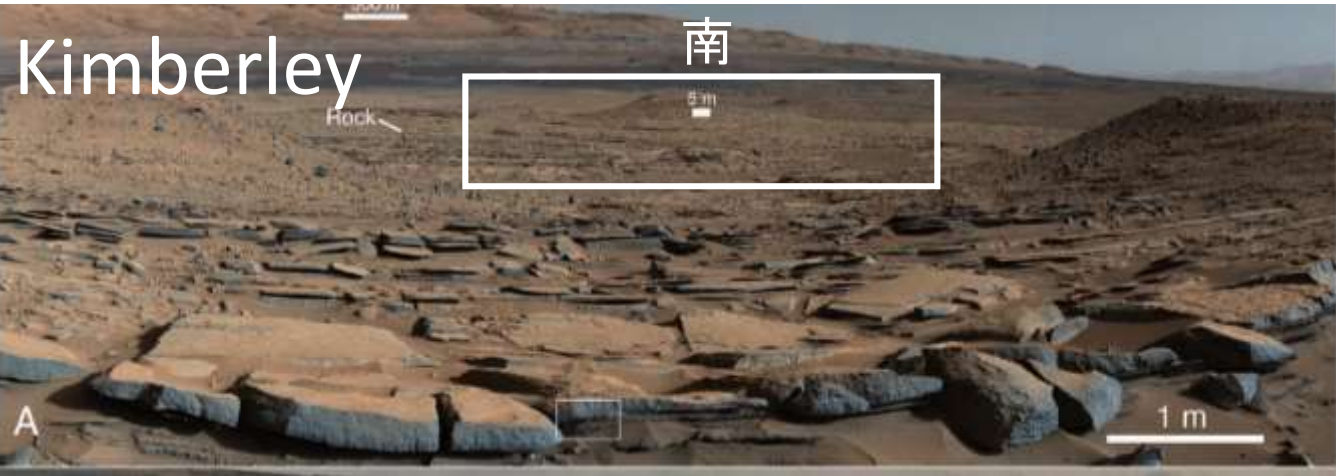
堆積面が傾斜していた砂岩はデルタ堆積物.

南のMount Sharpに向かって上位となり, Kylieを基準にすると, Kimberleyでは10 m高く, Zabriskieでは約25 m高く, Hidden Valleyでは約30 m高い. →湖水の上昇



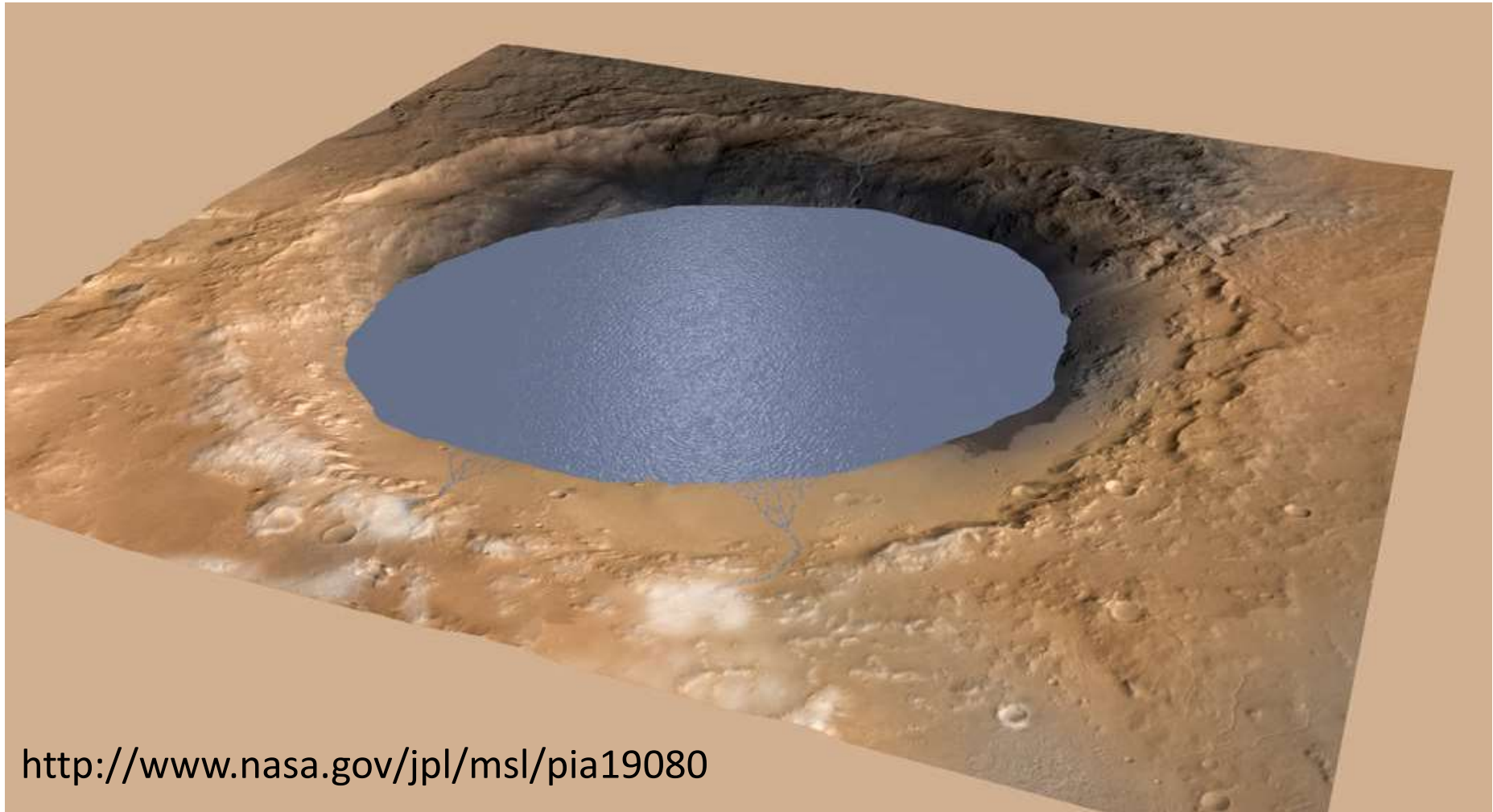
Hidden Valley





「堆積面が傾斜していた砂岩」の上位は浸食面を挟み、水平な粗粒砂岩・礫岩(河川堆積物のトップセット)が累重.

デルタ堆積物の厚さから、湖の深度は数m-数10mよりは浅い。湖水の上昇は、堆積物の埋積による。



<http://www.nasa.gov/jpl/msl/pia19080>

Murray層とBradburyグループは指交関係にあり，同時異相.

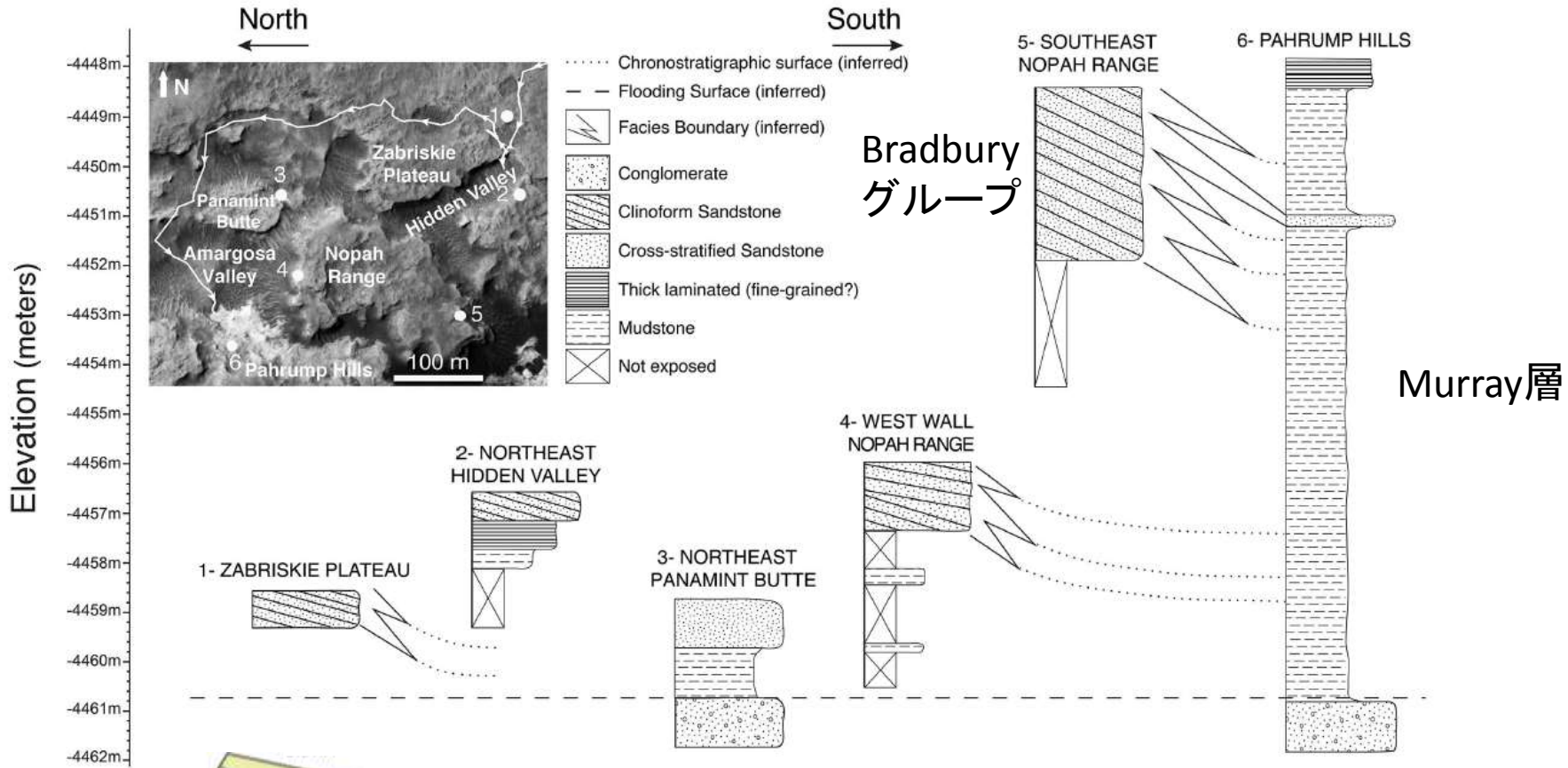


Fig. 5.

Bradburyグループ Murray層



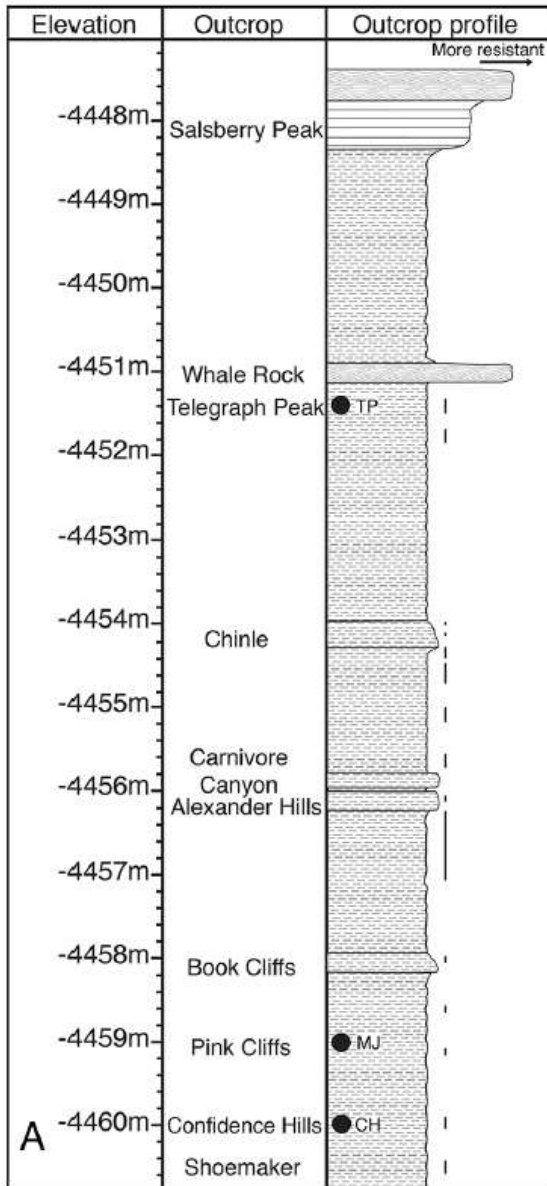
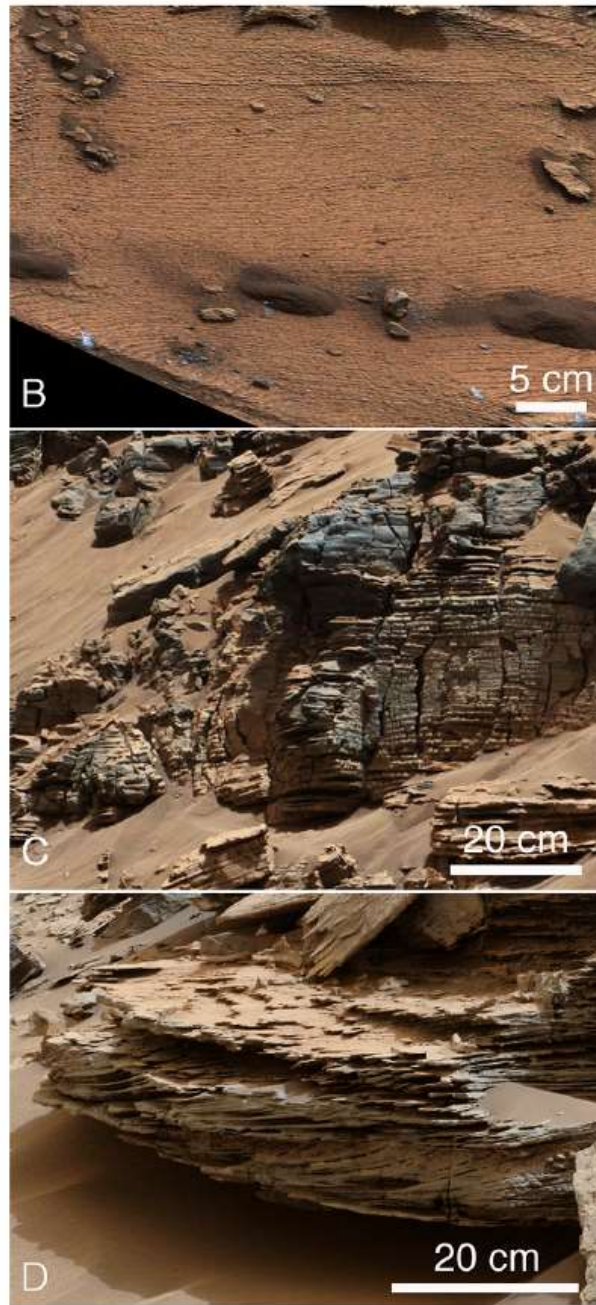
次のスライド

Murray層

層厚約150m, 層理の発達した泥岩, 厚い層理を持つ岩相, 斜交層理を持つ砂岩, 礫岩の4つの岩相に区分.

B: 泥岩の層理の平均層厚は2.2 mm, 水平から低角.

C: 厚い層理を持つ岩相, 薄い層理を持つ泥岩に似るが, 画像からは粒子サイズは不明. 層理の平均層厚は5 mm.



Cross-stratified sandstone Thinly laminated mudstone
 Thickly laminated (fine-grained?) Lamination very well expressed
 ● Drill holes: TP, Telegraph Peak; MJ, Mojave; CH, Confidence Hills

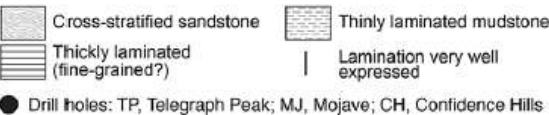
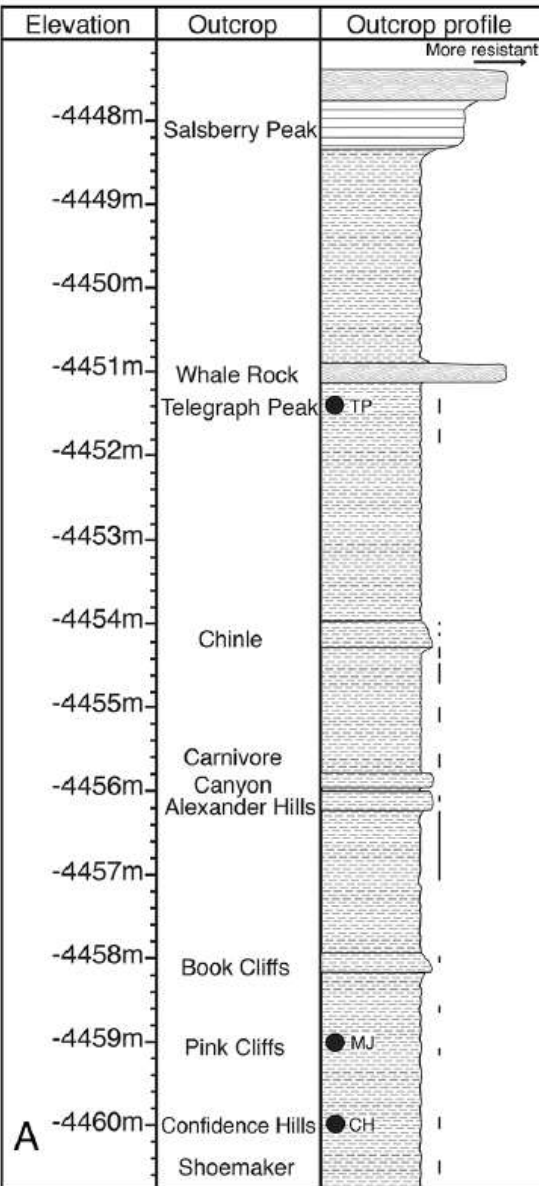
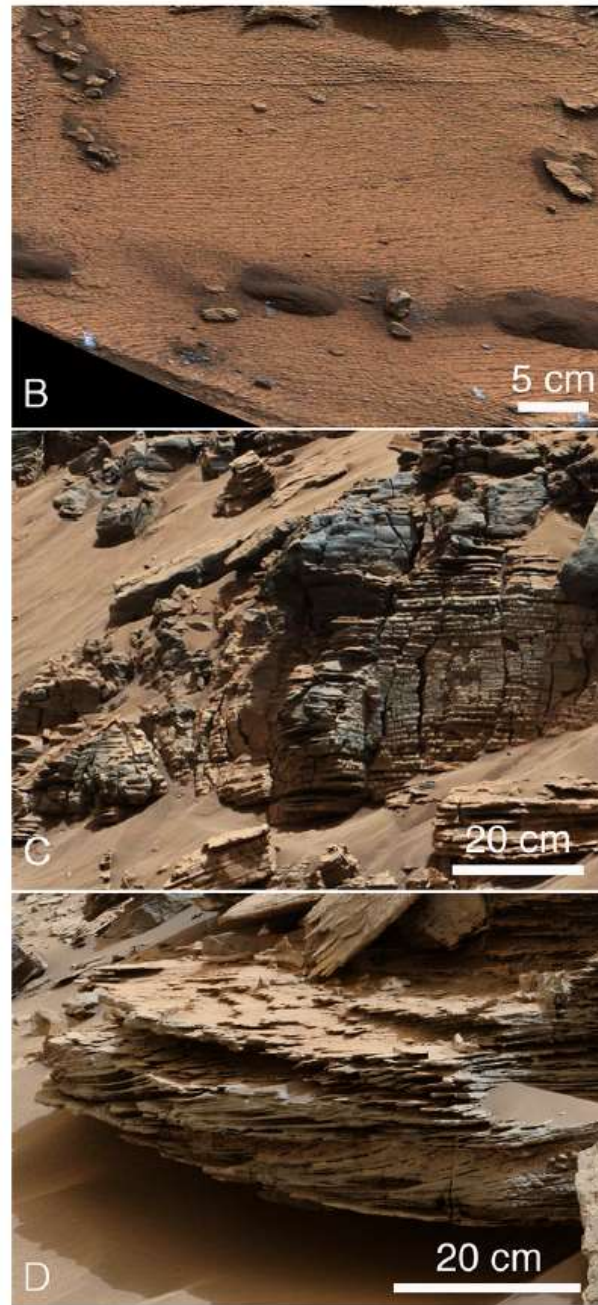
Fig. 7

Murray層

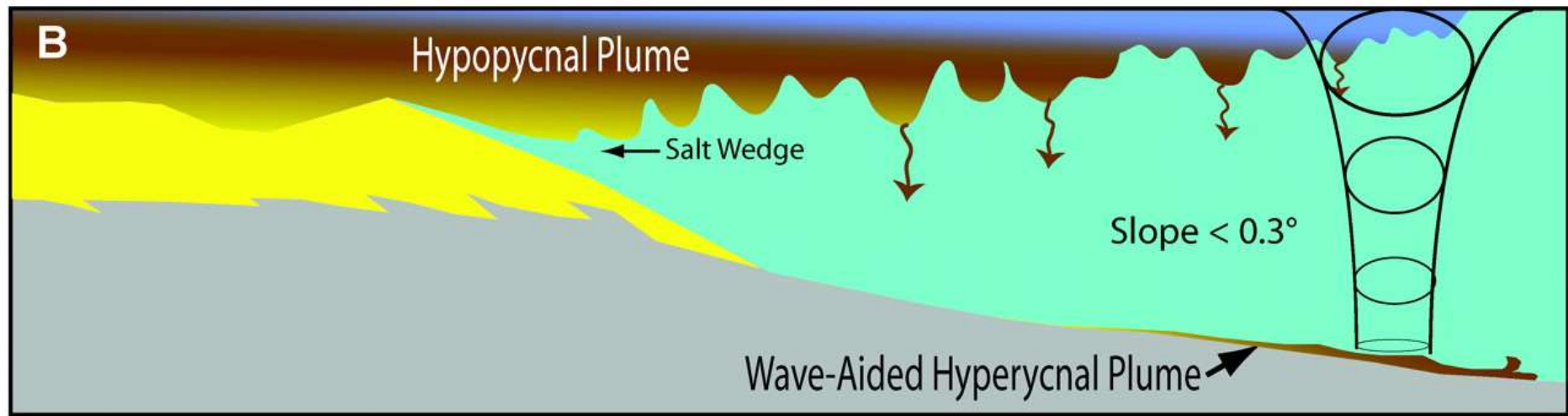
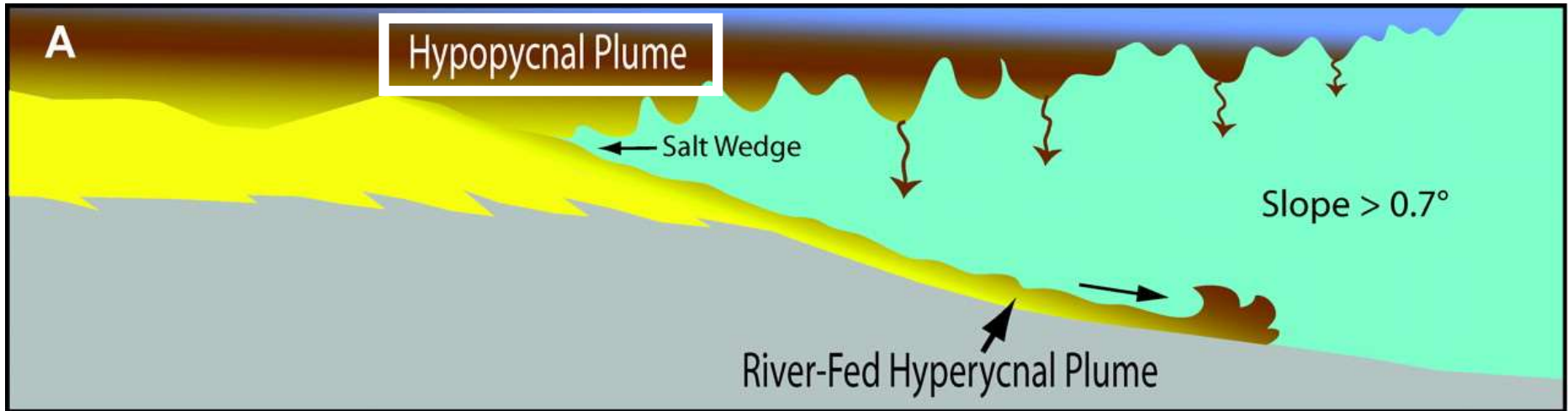
D: 斜交層理を持つ砂層, 南東方向への流れの下で堆積.

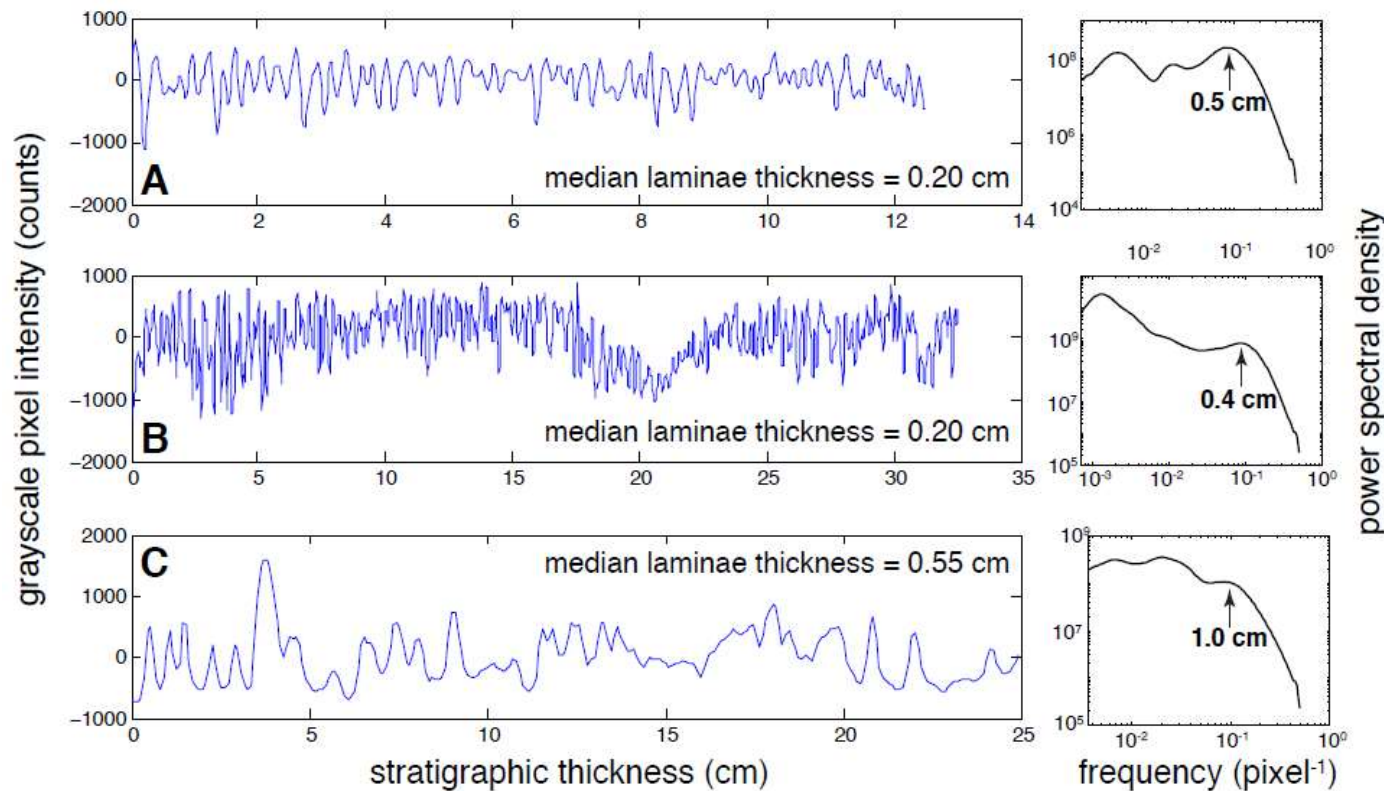
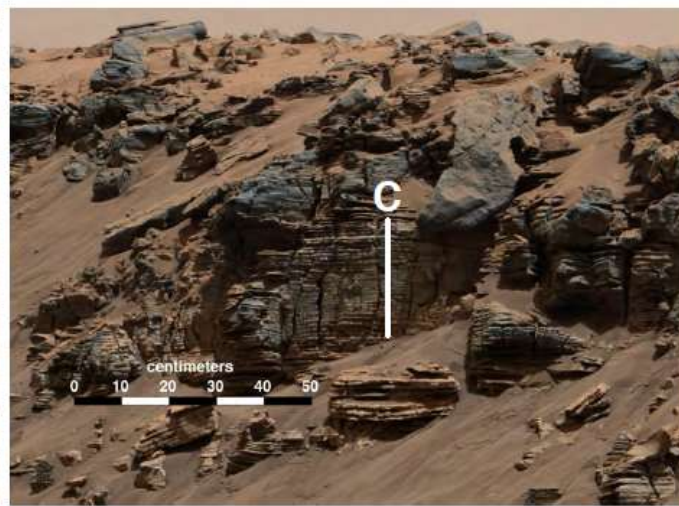
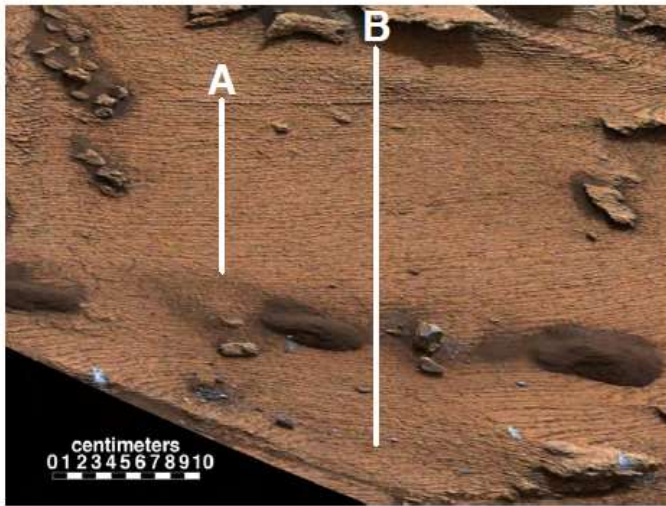
河川-デルタ複合体に隣接する湖堆積物.

薄い層理の泥岩は, 河口あるいはデルタから遠い場所で, 厚い層理の堆積物は河口あるいはデルタの近くで堆積した. ハイポピクナル流堆積物と解釈.



ハイポピクナル流堆積物

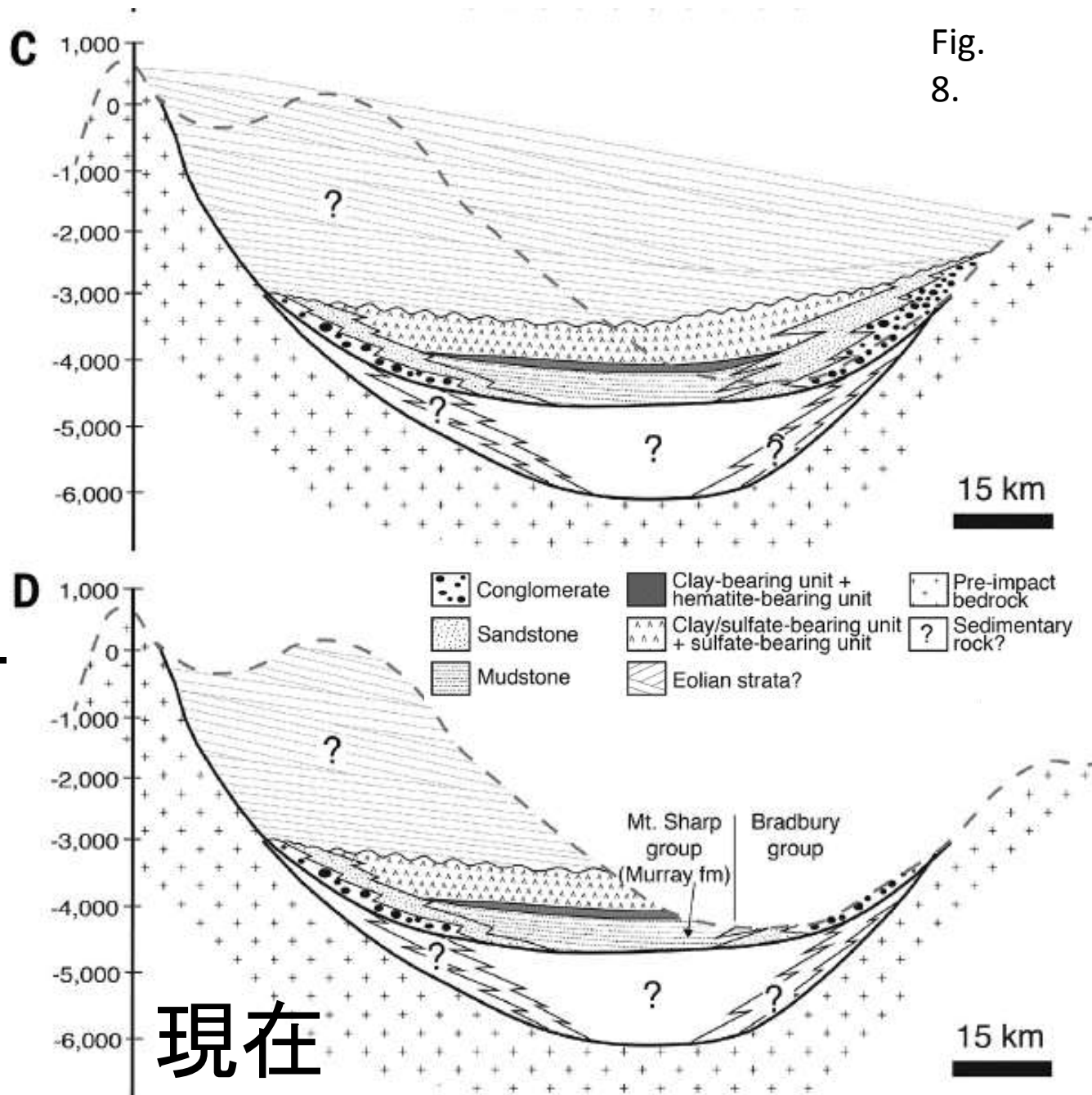




Lamination was measured from outcrops of the Murray formation (Pahrump Hills member) shown in Figure 7B (thinly laminated) and Figure 7C (thickly laminated).

Fig. S5

Fig. 8.



現在

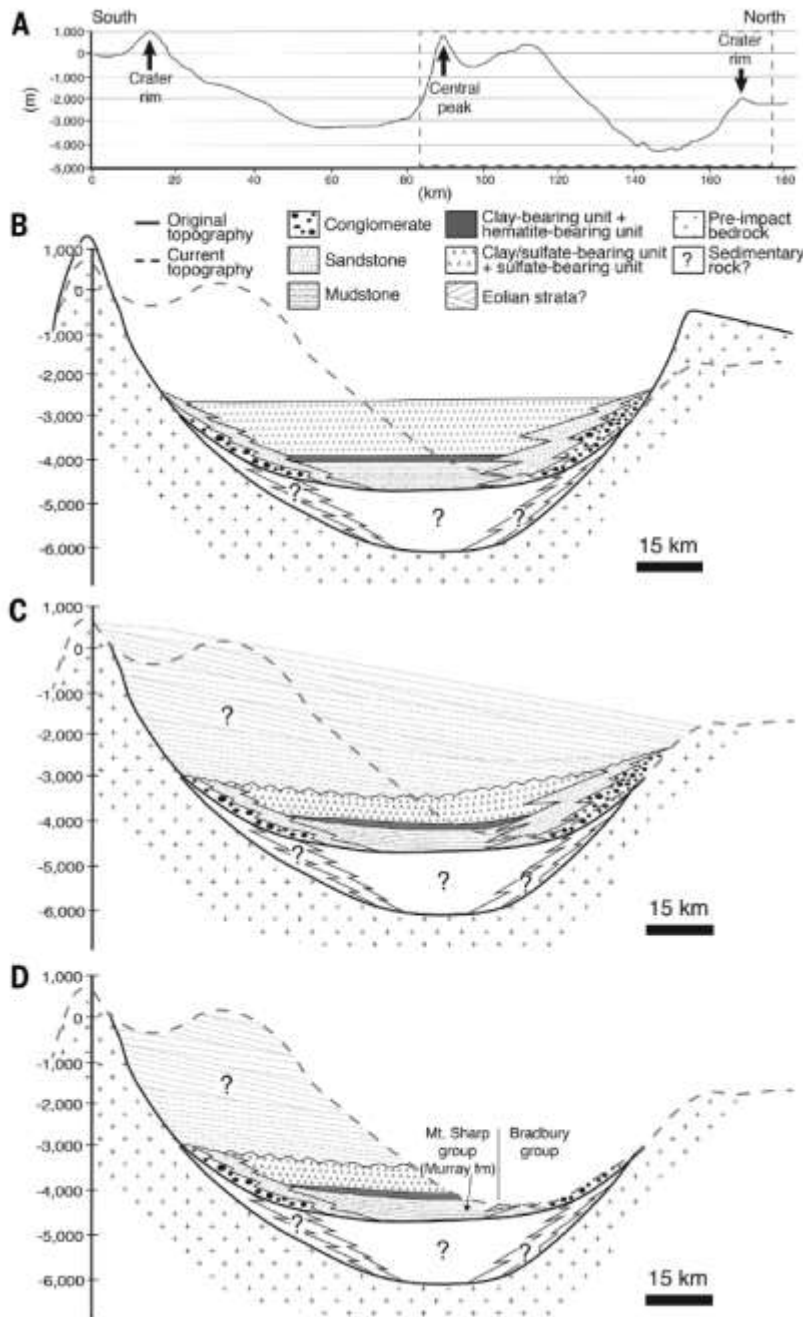
Murray層は湖堆積物なので、現在の同層の上限高度よりも高い場所まで同時異相のBradburyグループの地層は分布した。よって、風によって数百mの浸食。

過去の堆積史の復元

38～36億年前にクレーターが形成され、その直後に水域が形成された。クレーターの北壁と中央ピークの浸食・崩壊によって生じた碎屑物が河川で運搬され、デルタ堆積物とその沖の泥質堆積物が堆積。

クレーターの充填後、風による堆積物の掘り起こしが33～31億年前に起きた。浸食速度は4億年で200 m、0.5 m/100万年と推定される。一方、現在の火星の浸食速度は0.01 m/100万年である。

よって、初期火星の気圧は現在よりも高かった。



まとめ

クレーター充填堆積物は前期ヘスペリア代への移行期. 湖の深度は1-4m, 100-1万年間は維持. 層厚150mのMurray層の堆積には1万年から1千万年は要する. 長期間の液体の水の存在を示唆する. ゆえに, 本論の発見は, 火星全球平均表層気温0度以下という気候モデルに疑問を投じ, その一方で, 微生物の出現・進化できる水域が火星にあったことを示唆する.

