惑星地質ニュース
PLANETARY GEOLOGY NEWS
Vol.16　No.3　Sept. 2004

発行人：惑星地質研究会　小森長生・白尾元理
事務局：〒193-0845　八王子市初沢町 1231-19-B-410 小森方
TEL & FAX: 0426-65-7128
E-mail: motomaro@ga2.so-net.ne.jp
郵便振替口座：00140-6-535608

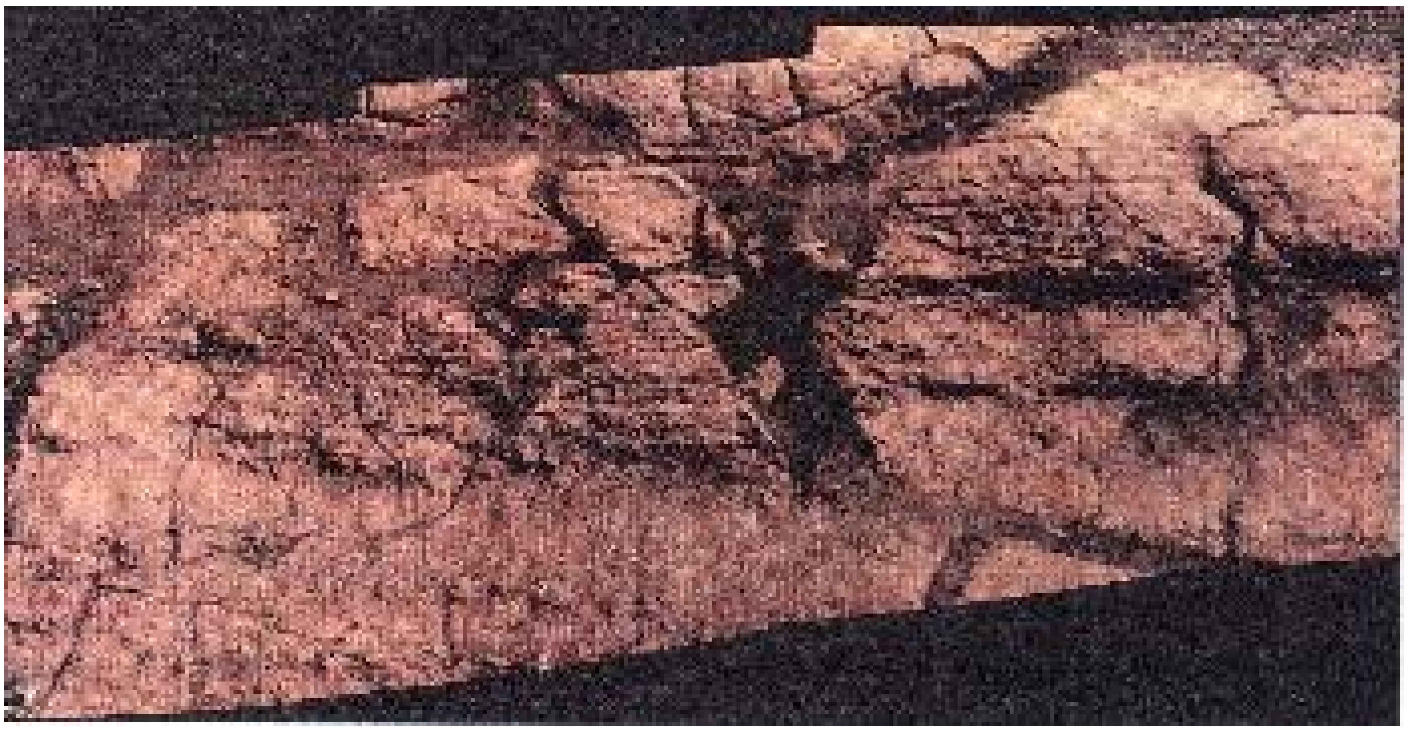
火星鉱物の虹は，風化の絵をえがく

Richard A. Kerr

ヨーロッパのマーズエクスプレスからの高精度スペクトル観測と，NASA のローバーによる分析は，火星を形づくってきた水について語る鉱物たちの，多様性を明らかにしている.

地球から遠くはなれた惑星表面がどんな岩石からできているのかを知るために、地質学者がその岩石を手にとろうとしても、それはなかなか、かなうことではない。しかしスペクトル研究者たちは、惑星表面からやってくる光をスペクトルのギザギザの線に分けることによって、遠くはなれた惑星の岩石の性質を知ることができる。スペクトルの山と谷が正確に解釈されると、惑星の鉱物組成を明らかにすることができる。地球のスペクトルは、可視光の青から遠赤外域までの波長にわたる多彩な色を分散させ、“鉱物の博物館”の様相をみせる、と惑星科学者の John Mustard（ロードアイランド州プロビデンスのブラウン大学）はいう。一方火星は、スペクトル研究者たちに智恵を絞らせるために“小さな出っぱり”以上のものは示してこなかった。「おそらく火星は、鉱物学的には貧相なのだ」と、Mustard は 20 年前には考えていた。

幸運なことに Mustard と彼の同僚は、ついに火星のスペクトルの多様性を見つつある。すなわち、地球のスペクトルと張り合うほどでないにしても、水が火星表面の多くの部分をいかに化学的に変えるようになったかについて、よりいっそう完全な物語を語ってくれるのである。火星は、研究が不十分であったとき考えられていたほど、鉱物学的に貧相なものでないことがわかった。新しいスペクトロメーターは、マーズエクスプレスに搭載されていま軌道上にあり、2 台の



本のページ　塩を含んだ堆積物からなるこの薄層は，火星の太古の酸性の海があったことを示している.

ローバーの観測機器は岩石に接近し、さらに高性能なスペクトロメーターも製作中である。これらの機器によって「われわれは火星の全体像を組み立てる絶好の機会にある」と、惑星スペクトル研究者の Jessica Sunshine（バージニア州チャンティリーの SAIC Inc.）はいう。

いま現れつつある情景は、塩を含み、しばしばその歴史の初期に水たまりをもっていた、むしばまれた惑星の姿である。火山活動によって放出された水は、岩石から塩分を溶かし出し、それを厚い層として堆積させるのに十分なほど酸性があり、地下水も同様に岩石を変質させたようにみえる。この惑星の大部分は黄褐色のダスト、あるいは岩石の皮膜のような風化生成物によっておおわれている。しかし風化の性質と、今日にいたるまでにどの程度の風化が続いてきたのかは、なお論議されており、新たに得られた改良されたスペクトル曲線でさえも、解釈の余地をのこしている。

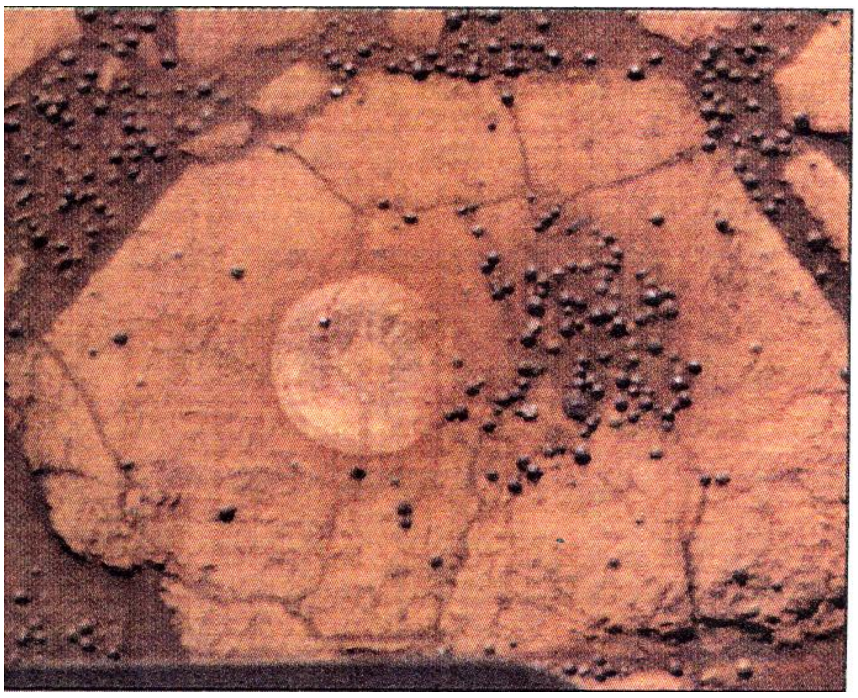
塩からい火星

オポチュニティーローバーを、メリディアニ平原の浅海堆積物に向かわせたのは、スペクトルの 1 つのユニークな部分だった。マーズグローバルサーベイヤー（MGS）搭載の熱放射スペクトロメーター（TES）が 1999 年から火星表面を短冊状に走査したとき、この惑星はとても単調にみえた。そう見えた部分のよい例は、明るい、ダストにおおわれた部分であった。

表面から放出される赤外線放射の TES スペクトル（波長 5〜50 μm のいわゆる中間赤外）では、暗い地域は、珪酸の量が少ないか中くらいの塩基性岩の組成をもつ火山岩である。しかるに、オクラホマ州ほどの大きさの面積をもつ赤道のある地域は、酸化鉄鉱物のヘマタイトを表すつよいスペクトル信号を示していた。かつての湖成層か熱水堆積物（地球上でヘマタイトが発見される一般的な場所）への着陸を願って、ミッションコントローラーたちは、オポチュニティローバーを今年 1 月、メリディアニ平原に着陸させたのだった。

オポチュニティは、リモートセンシングから期待されたヘマタイトを発見したが、それは期待された地質環境からではなかった。ヘマタイトは、浅い海または干上がった一連の水たまりの中で、不純物の多い塩分を含んだ堆積物に埋もれていた間に、ビー玉状の塊として形づくられた（Science, 5 March, p.1450）。

オポチュニティがその分析機器を、小さなイーグルクレーターの厚さ数cmの堆積物に直接あてたとき、その露頭の約半分が硫酸塩であることがわかった。少量の硫酸塩の存在は、1970 年代後半のバイキング着陸船以来、火星土壌の硫黄分析から推測されてはいたが、軌道上のリモートセンシングでは、ひとかけらの硫酸塩も見出せなかった。オポチュニティはいま、大きなエンデュランスクレーターの険しい内壁を降りつつ



鉄の小果実　ヘマタイトに富んだ小球の特徴的なスペクトルが，オポチュニティのローバーをこの場所に着陸させる要因となった．

あり、イーグルクレーターにあったのと同様な硫酸塩蒸発岩を何メートルにもわたって見つけつつある。おそらくオポチュニティは、メリディアニ平原に横たわる、軌道上からみえる明るい色調の地層の全300 mを降りるだろう。

いま硫酸塩は、他の風化生成物と同様に、火星全体に見つかりつつある。昨年12月下旬、ESAのマーズエクスプレスは、可視・赤外マルチ鉱物学マッピングスペクトロメーター（OMEGA）を含む7つの機器を搭載して、火星周回軌道に入った。OMEGAは0.35〜5.2 μmの近赤外波長域をカバーする初のスペクトロメーターで、火星軌道上で安全に、そして数週間以上作動させることができる。その10倍も精細な空間解像度と、変質した細粒物質に敏感な近赤外波長は、スペクトル研究者が従来みていたよりもはるかによい火星の“色”を明らかにした。

3月にヒューストンで開かれた月惑星科学会議（LPSC）で、Yves Langevin（パリ南大学：UPS）とOMEGAチームは、kieserite（硫酸苦土石）とよばれるマグネシウム硫酸塩の発見を報告した。この硫酸塩は、マリネリス峡谷の底のように、水が集まり蒸発したと思われる「低地帯に普遍的にあるようだ」とのべた。OMEGAはまた、珪酸塩岩石の水による風化でつくられた粘土や、かんらん石の風化生成物である蛇紋石も探知した。

先月パリで開催された宇宙研究委員会の隔年科学集会（コスパー）で、OMEGA主任研究員のJean-Pierre Bibring（UPS）は、これまでOMEGAによってカバーされた火星のごく一部のマグネシウム硫酸塩とカルシウム塩の分布を描き出した。それらは、太古の水が集まった場所だけでなく、メリディアニ平原を超えて分布する成層堆積物の一部も描き出している。成層堆積物は、火星の地質学的な“謎”として最近話題になっている（Science, 8 Dec., 2000, p.1879）。ある地質学的な力（水、風、火山、衝突）が、衝突クレーターの内側と他の低地帯の中に明るい色調の物質を堆積させた。オポチュニティとOMEGAの発見は、少なくとも謎に満ちた成層堆積物の一部は、池、湖、大洋のような水たまりの環境下でできたことを示しているようにみえる。

腐食された池の古い年代

硫酸塩で塩からい火星は、地球化学者たちに、酸によってむしばまれた若い惑星の物語を語ってくれる。1987年の論文で、故Roger Burnsは、若くて火山学的に活発だった火星の、地球化学的な意義をくわしく述べた。火山活動によってもたらされる硫酸は、水と混合して岩石を化学的に腐食し、いろいろな硫酸塩、とくにジャロサイトとよばれるカリウム鉄水酸化硫酸塩をつくり出す。

オポチュニティローバーのメスバウアー機器は、イーグルクレーターで蒸発岩の中に実際にジャロサイトを確認した。メリディアニ平原の岩石は、火星上の最古のものの1つであったために、「初期火星の酸性の水を避けることはできなかった」とUSGSの地質学者Jeffrey Kargelはいう。オポチュニティのチームメンバーはBurnsの洞察をほめたたえ、エンデュランスクレーターで最大の蒸発岩露頭をBurns Cliffと名づけた。

胃液ほどの酸性をもった初期火星の水は、火星表面が腐食するのを助け、堆積物の形成に寄与したばかりでなく、火星の気候にも中心的な役割をはたしてきたに違いない。火星の歴史の最初の約10億年間（この頃に地球上に生命が誕生した）に流水が谷を刻んだという痕跡は、火星が

“暖かくて湿っていた”、あるいは少なくともすべての水が氷としてずっと固定されるほど寒冷ではなかったことを、多くの研究者に確信させた。しかし最初の10億年間、若い太陽はそれほど明るくなかったので、適当な気候モデルをつくるためには、強い温室効果のある特別な初期加熱を考えなければならなかった。

濃い二酸化炭素の大気は、初期火星の温室効果を高めたであろう。しかし、二酸化炭素は化学的に不活性ではなく、水が加わると酸を形成し、岩石を腐食し、炭酸塩をつくった。二酸化炭素が炭酸塩として固定されてしまうと、火星を暖めるには役立たなくなった。しかし惑星地質学者Jeffrey Moore (NASAエームズ研究センター) によれば、「火山噴火が頻繁におこっていれば、硫酸によって炭酸塩の形成を阻止されるので、二酸化炭素は気体のままで火星の温室効果を助けたのだろう」という。火星の巨大なタルシス火山地域やその他のハワイ型火山は、火星の歴史の中期までに多くの噴火活動があったことを暗示している。

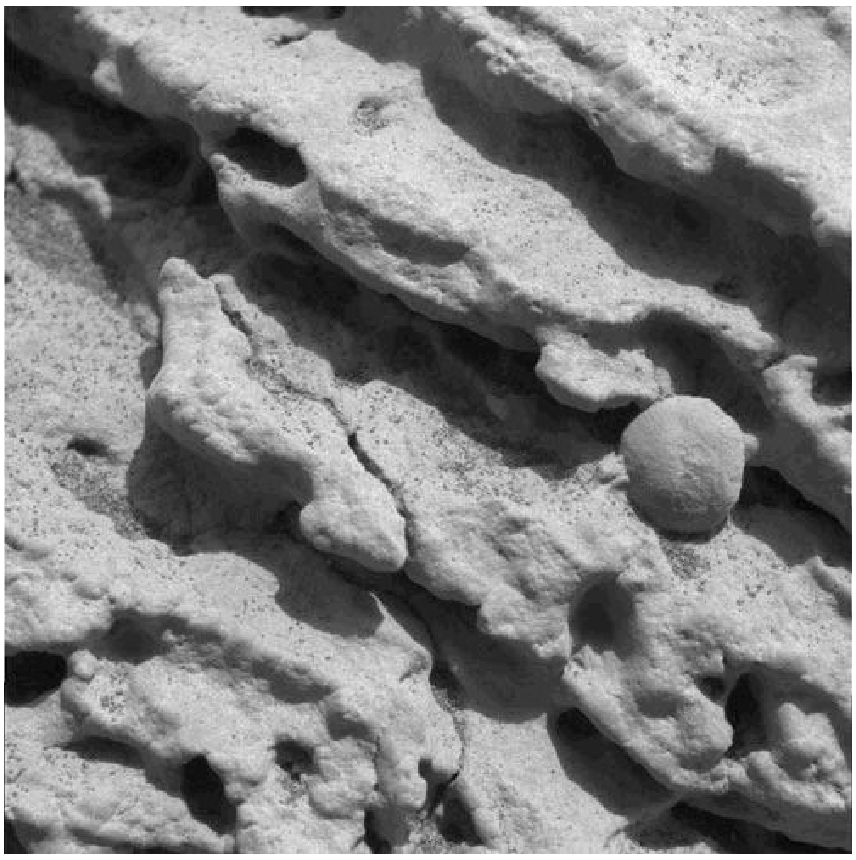
色についての疑問

OMEGAは、火星のリモートセンシングで従来よりも幅広いスペクトル視野をもたらし、２つのローバーは、軌道上からの探査を検証するのに必要な地上情報（ground truth）をもたらしつつあるが、火星表面の性質についての多くの論争はきちんと解決されていない。中心的な疑問は、初期の“暖かく湿った”時代の後で、水は何をしていたかということである。たとえば火星の暗くダストのない地域は多くの部分を占めているが、TESのデータではははっきりしない点が残っている。TESのスペクトルデータでは、珪酸の少ない岩石と中程度の岩石の地域をわけることができるのか、あるいは新鮮な岩石と変質した表層におおわれた岩石だけの違いなのか。その答えははっきりしないままであるが、おそらく火星史の中期におこった変質の問題は、解決に向かって前進しつつあるようにみえる。

他の化学的な岩石の変質は、いまだに初期の火星と結びつけることはできない。探査の早い段階でスピリットは２種類の“汚れ”を発見した。チームメンバーの１人は、それが風化生成物だと考えた。それはグセフクレーターの多くの岩石をコーティングしているが、スピリットのリモートセンシング機器Mini-TESと２つの接触分析装置でも、それが何であるかは全くわからなかった（Science, 9 April, p.176)。そしていまスピリットは、メリディアニ平原の岩石と全く異なるコロンビアヒルズの岩石に、ヘマタイトを確認した。「コロンビアヒルズでは、ある種の岩石にはげしい、湿った変質がおこったようにみえる」とチームメンバーのRaymond Arvidson（セントルイスのワシントン大学）はいう。しかし詳細は、まだ不明である。

グセフクレーターの土壌は、どの程度の風化がいつおこったのかという、もう１つの論争をひきおこしている。この土壌の大部分は、衝突によってくだかれた局地的な火山岩か、または風によって露岩から除去された砂にいくらかの風成ダストが加わったものであると、ローバー科学者チームは結論している。しかし、グセフクレーターの大きな岩石を風化を受けたにもかかわらず、土壌中に含まれるこわれやすいカンラン石が風化されなかったことは、謎として残る。

チームに属さない３人のスペクトル研究者―Melissa Lane（アリゾナ州ツーソンの惑星科学研究所）、Darby Dyar（マサチューセッツ州サウスハドレーのMount Halyoke College）、



見えないもの　メリディアニ平原に豊富にある硫酸塩は，軌道上からのスペクトル探査では確認できない．

Janice Bishop（NASAエームズ研究センター）ーは、土壌の母岩は完全に細かいくずに風化された、とLPSCで主張した。アリゾナ州立大学のPhilip Christensenの学生だったLaneは、「Mini-TESの分析結果は、Gusev土壌のスペクトルを既知の化合物のスペクトルと十分に比較していない」と主張した。彼女は、水和した鉄硫酸塩（Burnsによって予知されたもう1つの酸性風化生成物）が、Christensenと同僚が炭酸塩とゆるく結びついた水に起因すると考えた吸収帯とよく一致することを見出した。また、メスバウアーの専門家Dyar（彼はBishopとともにBurnsの学生だった）は、メスバウアーの土壌スペクトルが、かんらん石の場合と同様に、水和した鉄硫酸塩と一致すると主張した。この結果、ローバーチームが非変質の岩石であるとしたものを、Laneと彼女の同僚は、暖かく湿った火星のもとでつくられた変質生成物だと考えている。

「このような意見の違いを解決するためには、リモートセンシングとローバーがおこなう分析の両方による多くの種類の観測が必要で、いろいろな情報を組み合わせることが必要なのは明らかだ」と惑星スペクトル研究者Carle Pieters (ブラウン大学）はいう。かつては観測機器は1度に1つずつ打ち上げられてきた。しかしこの状況は、現在のローバーやマーズエクスプレス、また来るべきNASAの2010 Mars Science Laboratory Roverや2006 Mars Reconnaissance Orbiterなどでは変わりつつある。それでも、火星のダスト、土壌、風化など、そしてこれとともに火星の歴史における水の役割を理解するためには、サンプルリターンを必要とするだろうと彼女はいう。

［**訳者注**］ここに紹介した論説は、次の解説論文のほぼ全訳である。

Richard A. Kerr, 2004, Rainbow of Martian minerals paints picture of degradation. Science, 305 (6 Aug. 2004), 770-771.

火星探査の最新の成果と問題点を伝えるのに適切と思い紹介した。著者のKerrの文章は独特なしゃれや気取った表現が多く、私の力ではうまく訳せないことがある。不十分な点はお許しいただきたい。

NASAの2台のローバーとESAのマーズエクスプレスの成果はその後もぞくぞく上がっており、これからも逐次紹介していきたい。なお、このKerrの論文ののったScienceの掲載号はスピリットローバーの探査成果の特集号となっており、一見の価値がある。追ってオポチュニティの成果も特集されるだろう。

（小森長生）

論文紹介

火星ローバーがさらなる水の証拠を発見

Naeye, R., 2004. Mars Rovers find more evidence of water. Sky & Telescope, Vol.108, No.4 (Oct. 2004), 17-18.

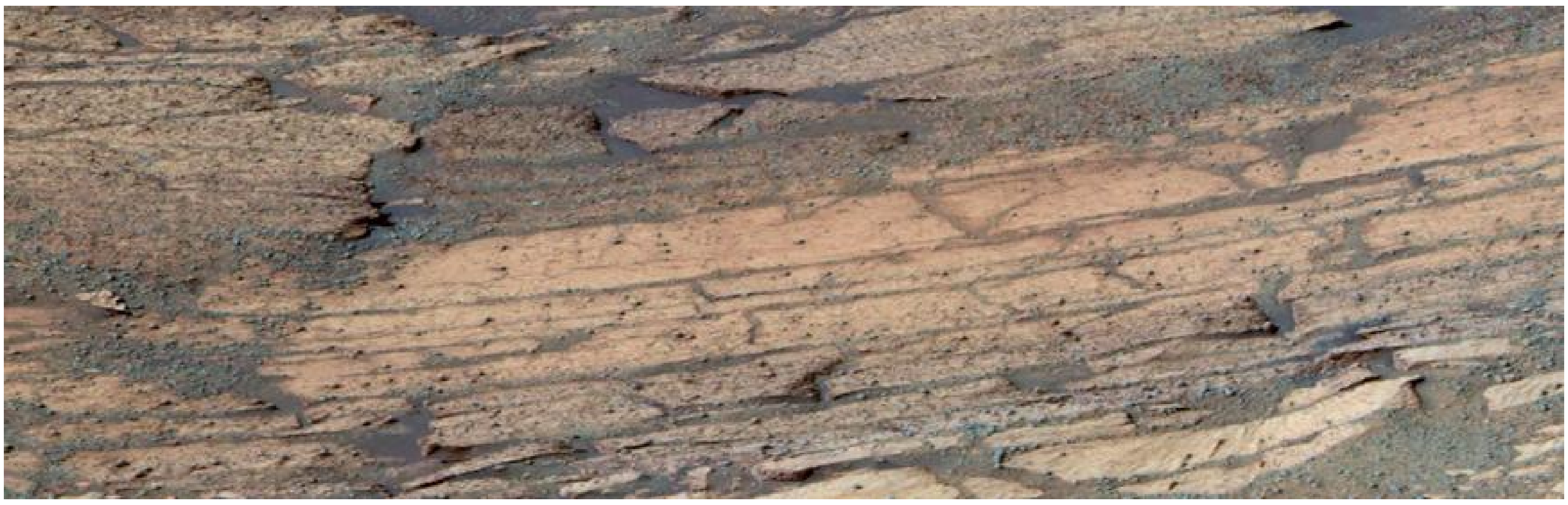
カッシーニが土星周回軌道に入ったときには脚光をあびただろうが、スピリットとオポチュニティも忘れないでほしい。NASAの双子の火星ローバーは、火星の冬の到来がさし迫ってきたにもかかわらず、着実に活動をつづけている。この２つのローバーは、火星の歴史における水の役割について、とくにメリディアニ平原のオポチュニティの着陸地点において、新しい情報をもたらしつつある。

６月初めにオポチュニティは、エンデュランスクレーター内に危険をおかして入りこみ、科学者たちがKaratepeと名づけた、ほどよい傾斜の岩石の表面を下った。７月半ば現在、このローバーは、厚さ数mの堆積岩の露出を下り降り、その途中で画像を撮影し、スペクトルデータを取得した。化学的、鉱物学的、組織（Texture）上の証拠はすべて、遠い過去に液体の水がここにあったことを示している。Karatepe岩は硫酸塩にとみ、水が蒸発したあとにのこされた典型的な化学的性質を示している。スペクトロメーターはまた、豊富なジャロサイト（地球で水の中で形成される鉄を含む鉱物）を見つけた。「水が表面にあったことを示す決定的な事実は、岩石中にみられる斜交葉理とリップルマークである」と、マーズローバーの科学者Joy A. Crisp (NASA/JPL) はいう。

この地層は、オポチュニティが表面の水の証拠を初めて発見した740 m先にあるイーグルクレーターの露頭の下に、何mにもわたって垂直にのびている。このことは、水がメリディアニの表面に何千年以上も残っていたことを意味する。しかしながら、火星岩石の絶対年代がわかっていないので、科学者たちはこれがいつおこったのかを推定するのみである。

オポチュニティのカメラはまた、Karatepe岩のスラブが数㎝つき出た狭いリッジを撮影した（下の写真）。“razorbacks”（ナガスクジラ、やせ尾根）とニックネームがつけられたこのリッジは、おそらく流水によって岩石の割れ目に堆積した、浸食力につよい鉱物からできているのだろう。「多分水は、露頭が形成されたあとも長い間、クレーター内の岩石のまわりを流れていた」と、チームメンバーのJack Farmer（アリゾナ州立大学）はいう。エンデュランスクレーターを掘りおこした衝突は、岩石に割れ目をもつくったと考えられ、「われわれはrazorbacksがどうしてできたかを、ローバーが明らかにしてくれることを期待している」ともいう。

一方、火星の反対側のグセフクレーターでは、コロンビアヒルズのふもとにある小さな円丘West



オポチュニティがエンデュランスクレーター内で調べたKaratepe岩．水の中で堆積した証拠をもたらした．

Spur で、スピリットは火星岩石中に鉄にとむ鉱物のヘマタイトを確認した。ヘマタイトは地球上ではしばしば液体の水の中で形成され、オポチュニティは水に由来するヘマタイトのノジュール粒子をメリディアニ平原で発見している。スペクトル分析は、グセフクレーターのヘマタイトがどのようにして形成されたかをまだ明らかにしていないが、Crisp は「ヘマタイトを含む岩石は、液体の水で浸食されたと考えるのがもっとも合理的である」と、のべている。

7 月半ばに、スピリットは、基盤岩が大規模に露出した露頭にやってきた。「190 ソル（火星日）かけてわれわれが探していたものを、ついに発見した 」と、科学チームメンバーの Matthew Golombek (NASA/JPL) はのべた。スピリットは 1 月初めの着陸以来、グセフクレーターに運ばれたルーズな火山性デブリの表面をはいまわってきた。この基盤岩は、この大クレーターが湖だったときにさかのぼって、より古い原地性の物質をしらべる機会を科学者たちにあたえるだろう。

2 台のローバーは、ミニマムな設計寿命の 2 倍をこえているにもかかわらず、ひじょうによく作動している。しかしながら、スピリットの右前輪モーターは、おそらく過剰な摩擦のために、ひじょうに多くの電流を消費している。ローバーは、右前輪をひきずりながらも、残り 5 つの車輪で能率よく後退することができる。もっとも、地上の操縦者は、砂質の上り斜面にきたときは、問題の車輪に電気を送るだろうが……。いっぽう、オポチュニティの機器アームの肩関節は、過剰な電力を消費しつづけており、地上の操縦者は、電気を節約するために、夜には半規則的に深く眠らせようとしている。

ローバーの太陽電池の起電力は冬が近づくにつれて低下しつつあるが、プロジェクトマネジャーの Jim Erickson (NASA/JPL) は「最も条件の悪くなるのは 9 月 20 日だが、悪い条件のなかでも 、限られた科学活動をつづけられるだろう」と、期待している。ローバーは活動しない日を設定して太陽電池を充電し、地上の操縦者は太陽電池パネルを太陽に向かって北に向けるようにするだろう。

ローバーが冬を生き抜こうとしている最中に、スピリットは West Spur の頂上に、そしてさらには、数か月かかるかもしれない 1km も先にある、高い見晴台にのぼるだろう。スピリットは見晴台から、軌道からの画像に見えるものが、下の盆地の成層した露頭であることを知るかもしれない。

オポチュニティは、数週間エンデュランスにとどまった後、1 月 25 日に新鮮なミニクレーターをつくった自らの耐熱シールドを探し出すために Karatepe 岩に登る予定である。科学者は、そこに新しく露出した小さな礫岩の組成と起源を調べたがっている。

スピリットとオポチュニティは合わせて 5km を走破し、45000 枚以上の画像と 6.8 ギガバイトのデータを地球に送ってきた。この成果は、ほとんどのメディアの視野から離れているミッションとしては、悪くないものである。　（小森長生訳）

スピリットのパノラマカメラがとらえたコロンビアヒルズの麓からみた West Spur.

報　告

パリでCOSPARが開催

出村裕英　Hirohide DEMURA

今年7月18〜25日フランス・パリで、第35回COSPAR Scientific Assembly 2004が開催された。宇宙研究委員会Committee on Space Research (COSPAR：コスパー) は、1957年に旧ソ連が人類初の地球周回衛星を打ち上げたのを機に、宇宙開発関係者が結集してできたもので、隔年に開催される。超高層大気から地球周回、観測ロケット・高層気球・地球周回衛星を用いた研究発表が多い。普通の科学会議と大きく異なり、各国宇宙機関の技術官僚や宇宙法関係者といった、科学的探求だけでない宇宙利用の観点からの参加者、国際協力ミッションの実務者も多く見かけられる。再来年の2006年には、有人宇宙機で盛り上がりを見せる中国北京の開催が決まっている。

惑星地質の観点からすると、いわゆる固体系探査ミッションに興味が集まるわけだが、残念ながら上記の歴史的背景から関係研究者の参加は少ない。私も、小惑星探査機はやぶさの形状認識の現状紹介で指名されて、今回初めて参加した。ほとんどの発表がポスターで、廊下や休憩所にずらりと並んだ姿は壮観である。同時並行のセッションが20数室あるというマンモス会議のため、日米欧の目指す水星までは回りきれず、ごく一部だけ参加したところを紹介する。

まず火星。米火星ラッシュに呼応して、欧州宇宙機関もMars Expressを送り込んだ。残念ながら着陸機は失敗したが、周回機の成果は華々しい。7月現在で総取得データ量は12GBに達し、立体カメラによる火星最高峰オリンポス山やマリネリス峡谷の高分解能鳥瞰図は、見る者を圧倒した。各種分光機器も稼働し、火星表層組成、大気組成と気象化学などで続々と知見が増えている。火星データ解析の標準が、地球と同じく地理情報システムに乗ったのが感慨深い。位置の決定それ自身が非常に困難だった時代が嘘のようである。複数のデータを重ね合わせ、総合的に対象を解釈・判断することが『普通』になった。今後が非常に期待される。

小惑星・彗星。日本のはやぶさミッションや、米国で採択されたミッションも話題になったが、やはり、最新データの出ているStarDustミッションが賑やか。今夏Science誌5678号表紙を飾ったWilt2彗星核画像の紹介は大いに盛り上がった。

月。クレメンタイン・ルナプロスペクターまでの月探査成果とその位置づけが一段落し、欧州Smart 1の到着待ちで、国際的には中

月セッションのようす

休みの雰囲気。日中印でそれぞれ進められている月探査計画を踏まえ、いわゆるブッシュプラン（月火星探査戦略）とどうリンクし、国際協力目標をどこに置くと良いかといった議論もあった。しかし、競争しながら分担するというのはなかなか難しそうである。

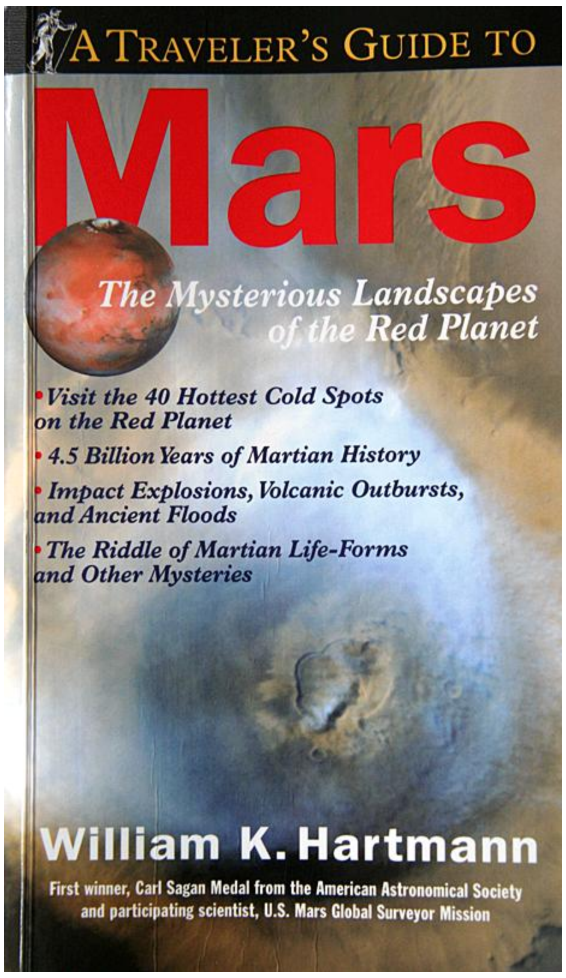
土星。これが最終日を飾る COSPAR ハイライトとなった。最後の大型探査機と呼ばれるカッシーニ探査機は、欧米共同のミッションで、その発表に集まった聴衆は 200 人以上で満員鈴なり。精緻なリング画像や羊飼い衛星の様子、氷衛星表面の初期解析結果、それも論文になるかならないかの速報まで示されたのは非常に感動的だった。最近の探査ミッションでは、プレスリリース・ウェブ発表を除くと、初期解析特集号など論文発表が先行する例が多く、国際会議発表はどうしてもそのダイジェスト版となる例が多い。このぎりぎりのパフォーマンスは、広報担当や会議運営者の協力がなくては実現できなかったことと思うと、感謝したい。（会津大学）

書籍紹介

火星のトラベルガイド

Hartmann, W.K., 2003, A Traveler's Guide to Mars: The Mysterious Landscapes of the Red Planet. 468pp. Workman Publishing. New York. 226×134×27mm, 18.95US$.

惑星科学の研究者で、W.K. Hartmann の名前を知らない人はいないだろうが、一応紹介しておく。彼は、1960 年代前半にアリゾナ大学の大学院でカイパーに従って惑星科学の研究をはじめた。以来 40 年にわたって惑星科学の最前線にいる研究者で、月の巨大衝突起源説の提唱者の一人であるし、最近ではマーズグローバルサーベイヤー（MGS）の科学研究チームの一員でもある。彼は科学者のみではなく、画家としては『The Grand Tour』などの作品集があるし、小説家としては『Mars Underground』などがある多彩な活動家としても知られている。その彼が、2003 年の火星大接近に合わせて一般読者向きに書いたのが本書である。



本書は日本の旅行ガイドブック『地球の歩き方』シリーズと同じサイズ、オールカラー、ページ数の割には格安なので、一般読者にも求めやすい。全体は 7 章からなる。第 1 章では、火星の概観と望遠鏡・火星探査機での観測史を扱っている。残り 6 章は、本書の核となる部分で、地域ごと、年代ごとに火星の名所を案内している。ここに使われているのが、マーズグローバルサーベイヤー（MGS）の高解像度画像である。1970 年代のバイキング軌道機は火星面上で 100 m 大の地形を見分けられたのに対して、MGS は 5 m 大、つまり火星面上のバス大の地形まで見分ける能力がある。砂丘、風食地形、層状堆積物、流水による浸食地形など、バイキングの画像と比較されて示されると、MGS の画像はまるで地球の航空機か

ら撮影された空中写真のようで、私たちはようやく火星の地形を理解できるようになったことがわかる。それにしても火星の地形は、月と較べて驚くべきほど多様性に富んでいて、謎に満ちている。地球の地形でも、火山地形、海岸地形、氷河地形など、それぞれの地形ごとに専門の研究者がいるように、火星でも同様に専門分野の地形学者が必要だなと思えるほどである。Hartmann の解説は、地球の類似地形なども例にあげてわかりやすいが、まだ成因不明な地形が多いことも教えてくれる。

囲み記事として 14 か所に『私の火星遍歴』と題して、Hartmann 自身の中学生時代からの火星へのかかわりが述べられているのは、読み物として面白い。それにしても最初の火星探査機マリナー4 号の時代から現在まで、第一線で活躍しているのだからたいしたものである。また『科学と報道』、『愚かな論争』など、囲み記事として Hartmann の私見が述べられているのも、教科書的でなく、興味深い。このような読者を飽きさせない仕掛けは、さすがに本づくりに慣れた Hartmann ならである。

本書は、一般読者を対象としているが、研究者にとっても火星の地形を概観するのに非常に役に立つ。わかりやすい英語で書かれているので言葉の壁は少なく、文字は大きいので高齢者でも読みやすい。一般の読者ばかりではなく、広く惑星科学にたずさわる多くの方に一読をお薦めする。

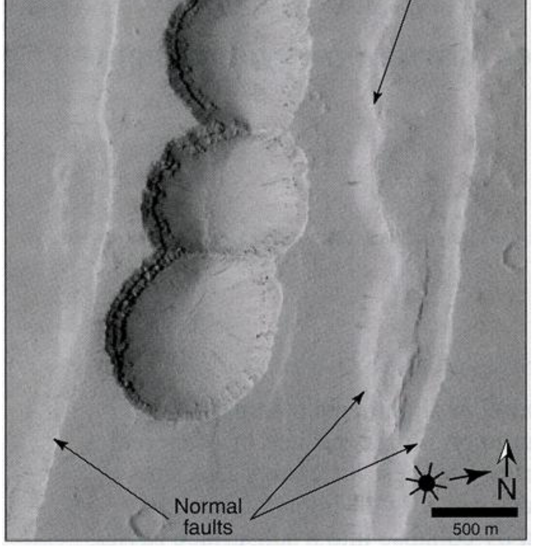
（白尾元理）

論文抄録

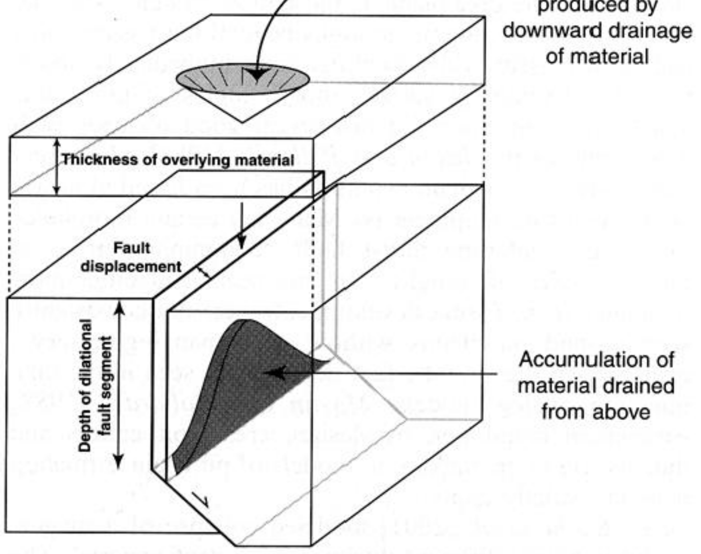
火星のピットクレーターの分布・形態とその起源

Wyrick, D., Ferrill, D.A., Morris, A.P., Colton, S.L., and Sims, D.W., 2004, Distribution, morphology, and origins of Martian pit crater chains. Jour. Geophy. Res., Vol.109, E06005, 1-20.

ピットクレーターは、円～楕円の凹地である。地球、火星などの地球型惑星に見られ、多くの場合、直線上に連続して並び、盛り上がったリムをもたないのが特徴である。成因としては、①溶岩チューブ、②岩脈、③マグマ溜まりの陥没、④カルスト、⑤展張割れ目、⑥正断層にともなう開口（Dilational faults) 等が考えられる。今回は MOC、THEMIS、MOLA などのデータを利用して火星上の 5 地域、150 のピットクレーターについて調べた結果、⑥の成因によるものが多いことがわかった。（S）



火星のピットクレーターの例



Dilational faults によるピットクレーターの形成

火星の火山の形態的特徴

Plescia, J.B., 2004, Morphometric properties of Martian volcanoes. Jour. Geophy. Res., Vol.109, E03003, 1-26.

MOLA のデータによって火星火山のデジタル標高モデル（DEM）を作成し、高度・山腹の傾斜・カルデラの深さ・体積などを求めた。MOLA 前の数値とくらべて大きな違いがある（たとえばオリンポス山の高さは 26.0km→21.1km に修正)。MOLA のデータでは、山頂の高さは-0.5～＋22km、比高は 1～22km、平均の山腹斜度は 1°～10° で、急傾斜は玄武岩質溶岩の火山、緩傾斜は火砕流噴火をともなう高地のパテラに対応している。体積 10^{12} m^3以下から最大の 10^{15} m^3で、最大のオリンポス山の体積は、地球上のシベリアの洪水玄武岩と同程度である。　（S）

火星、西メムノミア地方のクレーター湖と思われていた地形の起源

Leverington, D.W., and Maxwell, T.A., 2004, An igneous origin for features of candidate crater-lake system in western Memnomia, Mars. Jour. Geophy. Res., Vol.109, E06006, 1-17.

火星の衝突クレーターには、流路・内壁上の段丘・三角州状地形をもち、クレーター湖があったと従来推定されていたクレーターが存在する。ところが、かつて水の存在しなかった月にも、同様の衝突クレーターが存在する。今回、西メムノミア地方のこのようなクレーターを調べたところ、月と同様に溶岩流と溶岩湖をともなう火山活動によってできる可能性のあることがわかった。段丘は溶岩湖からのクレーター外への溶岩流出によって形成されるし、流路は溶岩チャネルによっても形成される。　（S）

INFORMATION

●メッセンジャー、水星に向けて打ち上げ

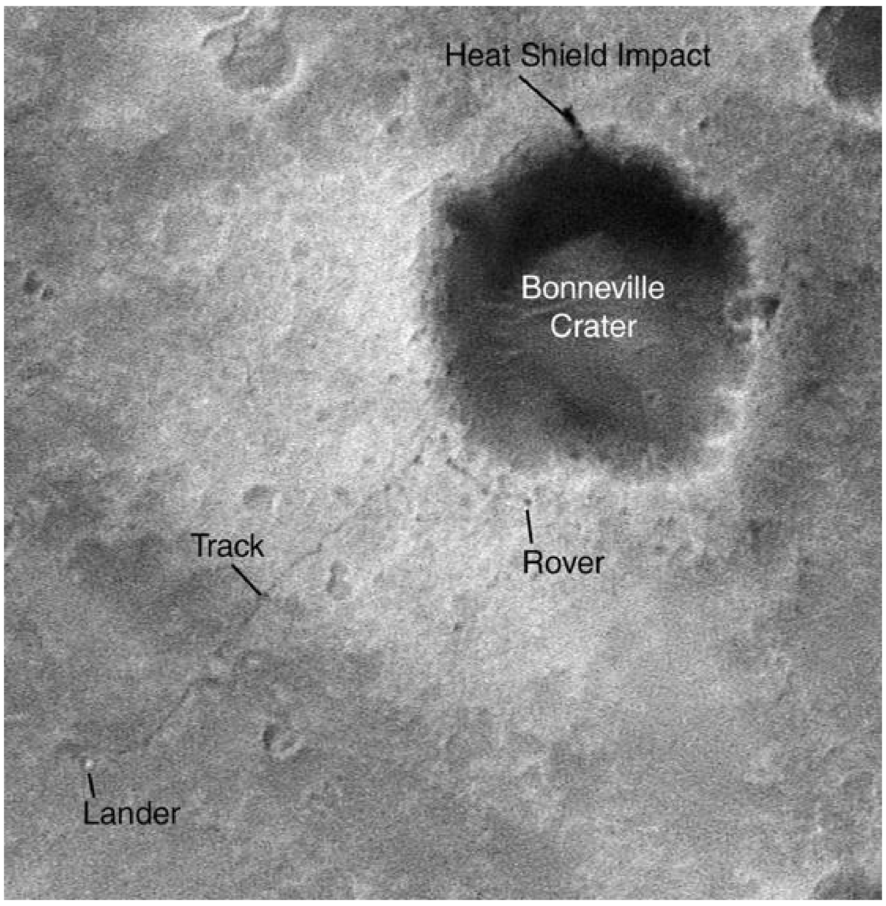
ハリケーンのアレックスのために 1 日延期になったものの、NASA の水星探査機メッセンジャーは、2004 年 8 月 3 日 2 時 16 分（米国東部夏時間）ケープカナベラル基地から無事打ち上げられた。メッセンジャーは、NASA ディスカバリー計画の 7 番目の惑星探査機で、ジョンホプキンス大学応用物理研究所で製作された。

メッセンジャーは、水星周回軌道に入るため大幅に減速しなければならない。このため 2005 年 8 月に地球と、2006 年 10 月と 2007 年 6 月に金星と、2008 年 1 月・2008 年 10 月・2009 年 9 月の計 3 回水星とのフライバイを行い、7 年後の 2011 年 3 月にようやく水星の極周回軌道に入る。

水星探査機は、1974 年に水星をフライバイしたマリナー 10 号以来で、メッセンジャーは高度 250km から水星表面を解像力 200 m でとらえるカメラを搭載する。この他、ガンマ線—中性子スペクトロメーター、磁力計、高度計、大気・表面分析用スペクトロメーター、X 線スペクトロメーターなどの観測機器によって、初の水星周回軌道からの総合的な観測をおこなう。なお、ヨーロッパ宇宙機関 ESA と日本の JAXA は、2011 年打ち上げ—2015 年水星周回をめざす水星探査ベピ・コロンボを計画中である。(メッセンジャーについては本誌 Vol.14, No.3 (2002 年 9 月号)、メッセンジャーのホームページ (http:// messenger.jhuapl.edu/index.html) を参照して下さい。)

●火星上空からスピリットの走行跡をとらえた

NASA のマーズグローバルサーベイヤーは、火星周回軌道に入ってから 7 年が経過し、2004 年 9 月、3 回目の延長ミッションがスタートした。搭載されたカメラ MOC はすでに 17 万枚以上の画像を撮影しているが、新しい試みもおこなわれている。その成果のひとつは、火星ローバースピリットの走行跡を捉えた画像である。2004 年 3 月 30 日に撮影されたこの画像では、スピリットの車輪跡だけでなく、ローバーやランダー本体、パラシュートやカバー、耐熱シールドの衝突孔までが写っている（ボンネビルクレーターの直径は 180 m）。通常の運用では MOC は火星表面で 5 m の解像力をもつが、この写真では、露出時間中のブレを探査機の回転で補償することによって解像力を 1.5 m まで高めている。もっともこの撮影方法は複雑なので、通常の撮影は従来の方法でおこなわれている。



（9 月 27 日発表の NASA のホームページ（http://marsprogram.jpl.nasa.gov/newsroom/pressrelases /20040927a.html）から）

●『惑星地質ニュース』ホームページ開設のお知らせ

このたび会津大学出村裕英氏の協力を得て、『惑星地質ニュース』の電子化を始めました。現在、過去に遡って 15 号分が PDF ファイルの形式で閲覧できます。白黒印刷のオリジナルの図や写真がカラーであった場合には、カラーでみることができます。下記の HP をご覧ください（http://kumano.u-aizu.ac.jp/PlaGeoNews/）。

また HP 開設を機に、HP トップページの絵を募集いたします。惑星地質らしいものをお寄せ下さい。

【応募方法】フォーマットは BMP、JPEG、TIFF、PICT のいずれかとします。ファイル 名には必ず拡張子（bmp, jpg, tif, pct）を付けて下さい。著作権上問題のないものに限ります。ファイルサイズ・画質は自由ですが、ウエブ用に画質およびフォーマットを多少手直しをする旨、ご了承下さい。締め切りは 2004 年 12 月 15 日です。ファイル送付方法は、 2 M B 以下であれば直接メール添付で、越える場合は下記『宅ふぁいる便』をご利用下さい。宛先は出村裕英 demura@u- aizu.ac.jp、宅ふぁいる便は　http://www.filesend.to/です。奮ってのご応募をお待ちしております。

【問い合わせ先】出村裕英（〒965-8580　福島県会津若松市一箕町鶴賀　会津大学コンピュータソフトウェア学科 TEL: 0242-37-2738　FAX: -2731)

編集後記：猛暑の夏でしたが、皆様お変わりありませんか。さて、本誌編集人の 1 人の私（小森）は、以前から患ってきた目の病気が最近悪化し、目下文字の読み書きがひじょうに困難な状況にあります。本誌の発行は何とか継続したいと考え、努力はしますが、多少のみだれなどが生ずるかもしれません。その折りはお許しくださるようお願いいたします。このさい、原稿執筆などでいっそう皆様のご助力をお願いできれば幸いに思います。どうかよろしくご支援をお願い申し上げます。　（K）