

一般公開がはじまった「かぐや」のデータ

星野 宏和 Hirokazu HOSHINO

1. はじめに

月周回衛星「かぐや」のデータ一般公開が2009年11月から始まった。公開データは月に関する科学研究に利用できる情報を提供するため、学術研究・教育活動等の目的であれば許諾なく利用できる。これにより、国内外の研究者による月の科学研究や月がどのように利用できるかの調査等がさらに進むことが期待される。本稿では、プレスリリース¹⁾されている各観測ミッションの処理・校正済み観測データのうち、月面撮像/分光機器 LISM (Lunar Imager/SpectroMeter)、レーザ高度計 LALT (Laser ALTimeter) データの例を中心に、データの検索や注文(加工)の手順も交えて紹介する。

2. 「かぐや」データアーカイブ

「かぐや」は1年半にわたって月を周回し、ミッションデータは生データだけで約6TBに及ぶ。処理・校正された最新バージョンの観測データは2009年12月時点で約72万ファイル、容量にして約13TBが蓄積されている。現在もデータ処理、解析は順調に進められており、公開データはさらに増えている状況である。

「かぐや」のデータは、「かぐや」データアーカイブのWebページ²⁾でデータ種を指定して、場所や時刻等により必要なデータを絞り込み、ヒットした検索結果の中から必要なファイルを選択、注文することで取得できる。画像データについては検索結果の中でサムネイル画像も参照でき、RSSを利用して複数の画像を一度に表示させることもできる。この際、等緯度経度図法で投影された一部の画像データについては、複数のファイルからのモザイクや切り出し、地図投影法の変換などの加工処理もできる。注文後に処理が完了すると、サーバの指定ディレクトリがユーザ登録されたメールアドレス宛に通知され、そこからファイルがダウンロードできる流れとなる。

3. 公開データの例

一例として“Meteoritics & Planetary Science”44 (8) の表紙を飾ったジョルダノ・ブルーノクレーター(直径20km)のLISM/地形カメラTC(Terrain Camera)の画像をとりあげる。このクレーターは従来、1178年に目撃された大発光現象をもたらした衝突によってできたかもしれないと考えられていた。しかし「かぐや」での解析の結果、クレーターの放出物の上にある小クレーターの数密度から100万~1000万年前に形成されたことが示された。

まず、「かぐや」データアーカイブにログインする。データ種としてTCデータ(低太陽高度(朝

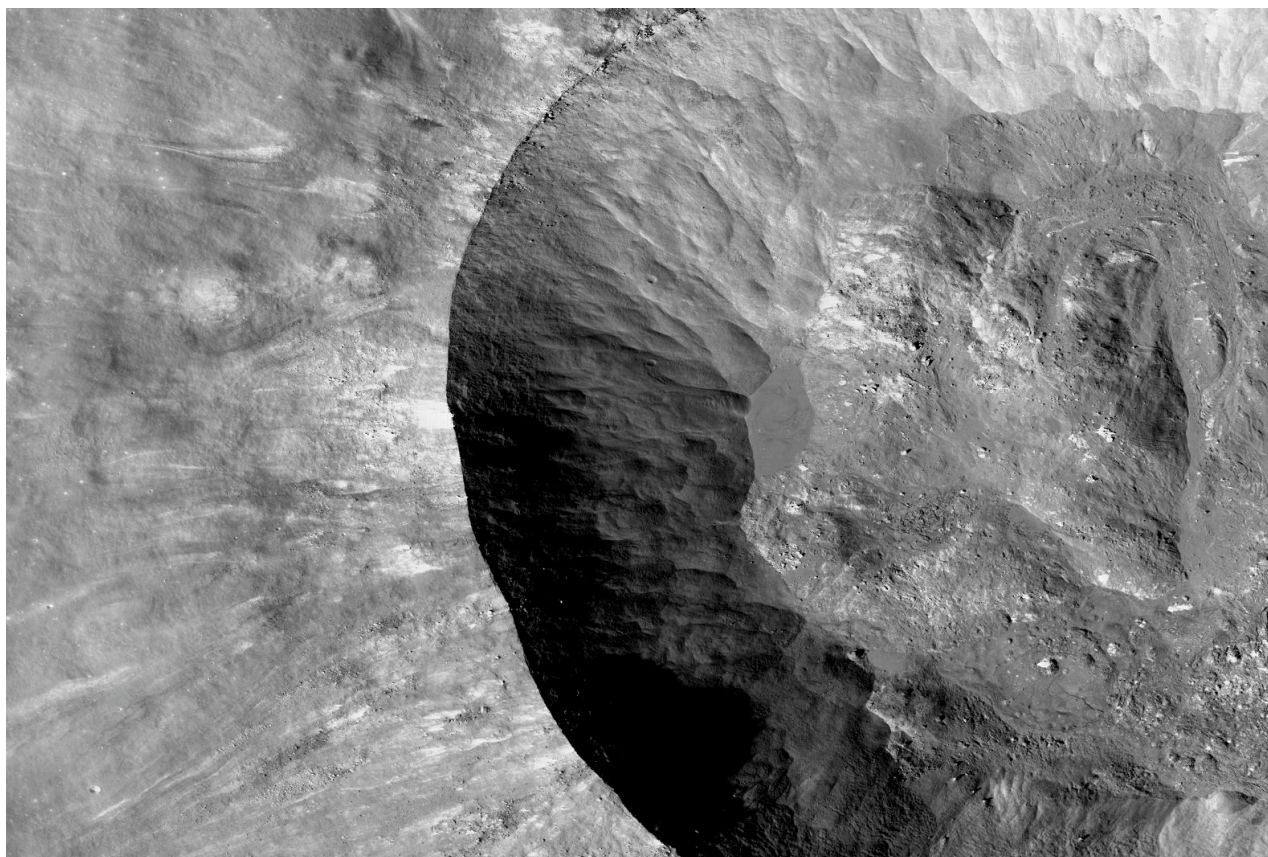


図1. ジョルダノ・ブルーノのTC オルソ(上、拡大)、と TC 低太陽高度(夕)の反射率マップ (下、拡大)

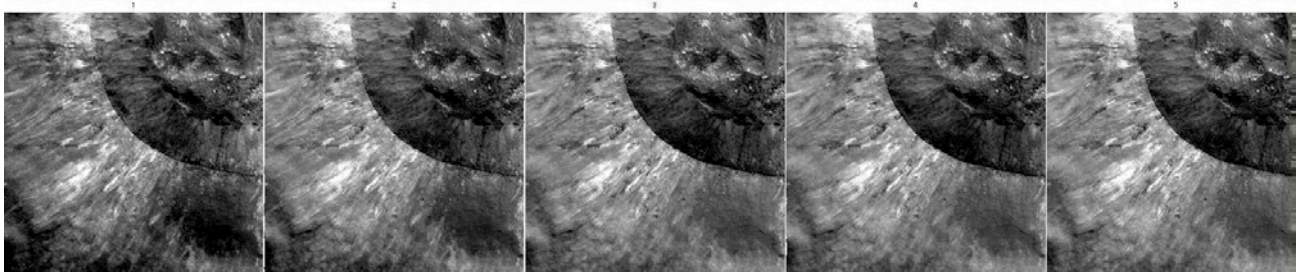


図 2. MI-VIS (可視) 輝度データ。左から 414, 749, 901, 950, 1,001nm の 5 バンド。

/ 夕) 反射率マップ、DTM/TC オルソ (月面の地形をデジタル表現した数値地形モデル (DTM: Digital Terrain Model) および衛星から撮影された画像の歪みを正射投影によりオルソ補正した画像)) を選択して、北緯 35.9°、東経 102.8°周辺を指定する。

ヒットしたファイルを注文するとファイル (拡張子.sl2) が取得できるが、tar 圧縮されているため解凍する必要がある。DTM/TC オルソの場合はさらに DTM (.dtm)、TC オルソ (.img) 等が tar 圧縮されているため、改めてファイル (.tgz) を解凍する。なお、マルチバンドイメージャ MI (Multiband Imager) の場合は画像ファイルが gzip 圧縮されており、ファイル (.igz) を解凍する。

各データのフォーマットは「かぐや」データアーカイブの Web ページから閲覧できるため、事前に参照されたい。ArcGIS、ENVI などのリモートセンシング / 画像処理ソフトウェアのほか、フリーソフト MultiSpec³⁾、ImageJ⁴⁾や NASAView⁵⁾、汎用的なソフトとして Photoshop も使用できる (ただし、ソフトウェアにより扱えないデータもある)。

最初に各ファイル先頭部のヘッダ (または別ファイルの場合もあり) に記述されているメタデータを参照して、ソフトウェアで開く際に条件指定する。必要情報はテキストで PDS (Planetary Data System)⁶⁾ラベル形式により記述されている。一般的なりモートセンシングデータと同様に、バイナリデータの開始位置のポインタやピクセル (カラム、サンプル) 数 (幅)、ライン数 (高さ)、バンド (チャンネル) 数 (MI の場合 VIS (可視) が 414, 749, 901, 950, 1,001nm の 5 バンド、NIR (近赤外) が 1,000, 1,049, 1,248, 1,548nm の 4 バンドであり、バンドインターリーブはバンドシーケンシャル (バンド単位))、データ型 (1pixel 当たりのバイト数 (2 バイト)、型 (整数、非負整数)、バイト順序 (ビッグエンディアン)) 等を確認する。なお、Photoshop では幅、高さ等を指定しておく、ヘッダのサイズは「自動入力」で算出される。ヘッダのバイト数はファイルにより変動するが、データ部のバイト数は固定であることが多いため、全ファイルサイズからデータ部のサイズを差し引くことでヘッダのバイト数を算出して指定することもできる。開いた後は必要に応じて明るさやコントラストを調整する。

図 1 は TC の例である。TC は視野角はノミナルモードで 19.3° (月面での幅は約 30km)、解像度が 4,096pixel/deg (3°四方のファイルでは縦横 12,288pixel) であり、月面での分解能は 10m/pixel 以下となる (月の赤道半径は約 1,738km)。図 1 の元画像ではクレーター内壁を岩石が落下した線状の跡も見て取れる。なお、月での朝方 / 夕方に当たる低太陽高度 (約 30°以下) で撮影しているのは、クレーターの縁や緩やかな傾斜でも凹凸を鮮明に写し出す (太陽高度が高いと影がなくなって平坦に写る) ためである。朝方の画像では東側から、夕方の画像では西側から太陽光が当たってい

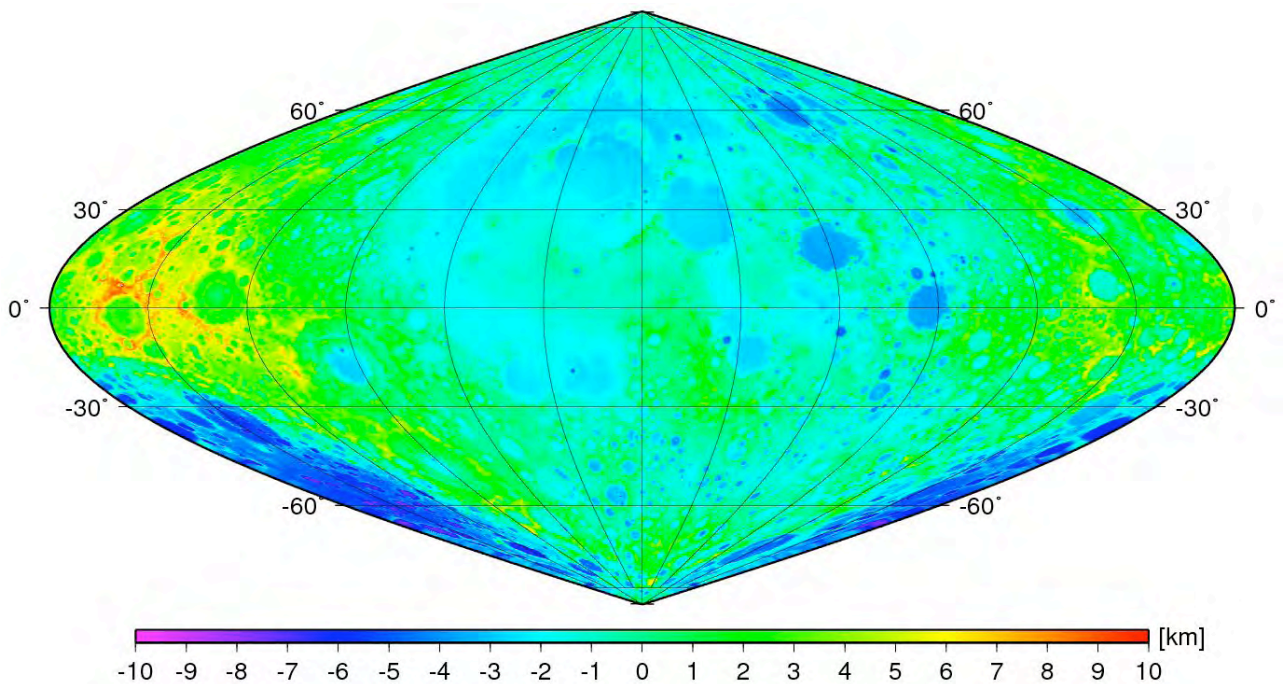


図3. LALT 月全球地形グリッドデータ

ることが影の方向からも確認できる。

また、月面上のある地点での昼間は約2週間続くが、「かぐや」が約27.5日後に回帰した際には太陽高度は約30°変化している（月での時間（地方太陽時）は早まる）ため、年間を通じて、朝方/夕方のタイミングで「かぐや」がその地点を撮影できる機会は限られる。

図2はMI-VIS（可視）の例である。MIは、データ量のダウンリンクリソースの制約から、TCとの同時観測は行わず、太陽高度が高い条件で観測している。MIはVISの解像度が約20m/pixel、NIR（近赤外）は約60m/pixelであり、視野角はVISが11°（月面での幅は約19.3km）、NIRは11.2°（19.6km）である。「かぐや」の太陽電池パドルは一翼のため、衛星の軌道面と太陽方向とのなす角度 β 角が0°をまたぐ半年毎にヨーアラウンドを行い進行方向が逆転した。北方向を上側にして他データと比較する場合には回転/反転が必要な場合があり、緯度経度情報を確認する必要がある。

この他にスペクトルプロファイラSP（Spectral Profiler）も可視-近赤外領域（512.6-2,587.9nm）での296バンドのデータがあり、輝度や反射率の特性から、元素分布や鉱物分布などの月面の表面組成に関する知見がさらに深まることが期待される。

LALTのデータとしては、一般公開直後から続々とダウンロードされるなど、注目度が高かった1/16（0.0625）°グリッドの高度データを例に挙げる。これは全1,658万点以上（ $= (360 \times 16) \times (180 \times 16)$ ）の約2km間隔のデータである。図3は、“Science” 323（5916）を参考に、月全球地形グリッドデータをGMT（Generic Mapping Tool）⁷⁾により中心経度を0°として、全球を正積のサンソン図法で投影しているものである。

この他にも、「かぐや」データを3次元地理情報システム（WEB GIS）で3D地図表示機能により閲覧できる「かぐや3Dムーンナビ」も公開を始めている。図4はガンマ線分光計GRS（Gamma Ray Spectrometer）による放射性元素ウランUの5°間隔での分布データである。K、Thなど他の

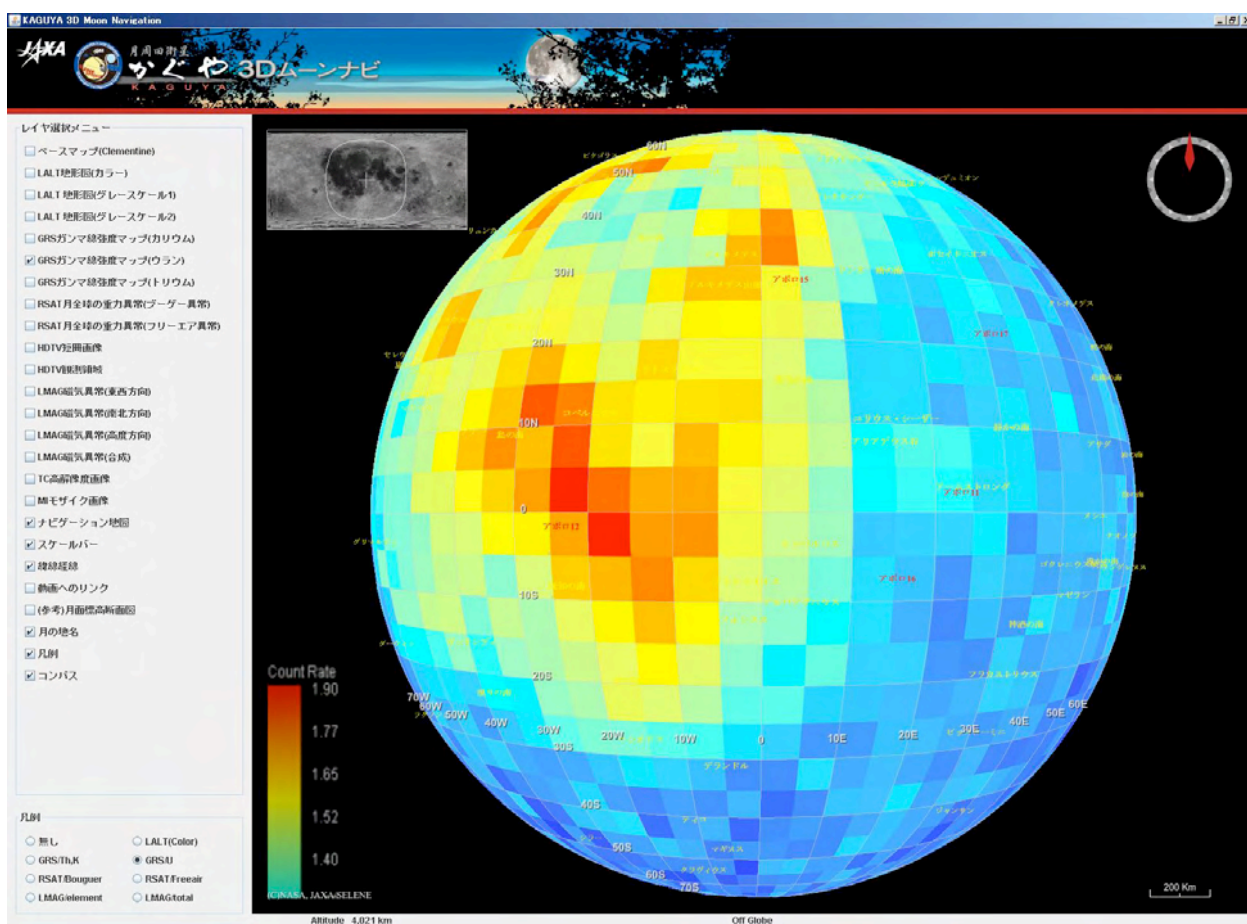


図 4. 「かぐや 3D ムーンナビ」 GRS ガンマ線強度マップ (ウラン)

元素にレイヤを切り替えたり、他機器のデータと比較したりする際などにも威力を発揮する。

4. 終わりに

本稿では「かぐや」のデータ公開についての簡単な紹介をした。「かぐや」のデータは、2 ヶ月たらずの間に、国内外の 200 名以上の研究者、技術者、教育関係者のみならずアマチュア天文家をはじめとする一般の方々から 1,000 回以上の多岐にわたるダウンロードがあった。

2010 年 2 月 18 日からは NASA/LRO のデータも公開予定されている。諸外国を含む複数のデータを比較によって、「かぐや」のデータがより活用されることが望まれる。「かぐや」のデータは月探査の次のステップである着陸ミッションにおけるサイト選定だけでなく、将来の月利用の可能性や今後の有人月面活動のための調査検討などにも活用されることが想定されている。皆様にもぜひ多方面で活用していただきたい。

(宇宙航空研究開発機構 月・惑星探査プログラムグループ)

参照 HP

- 1) http://www.jaxa.jp/press/2009/11/20091102_kaguya_j.html
- 2) <http://www.soac.selene.isas.jaxa.jp/>
- 3) <http://cobweb.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>
- 4) <http://rsbweb.nih.gov/ij/>
- 5) <http://pds.nasa.gov/tools/index.shtml>
- 6) <http://pds.nasa.gov/>
- 7) <http://gmt.soest.hawaii.edu/>

AGU Fall meeting(アメリカ地球物理学連合秋季大会)に参加して

本田 親寿 Chikatoshi HONDA

2009年12月14日(月)から18日(金)までサンフランシスコのモスコニーセンターで開催された2009 American Geophysical Union (AGU) Fall meetingに参加するため日本を出発したのは13日。AGU Fall meetingは世界中から地球科学(特に地球物理学分野で惑星探査を含む)の研究者が一堂に会する学会で、日本人研究者も例外ではない。私は10月にサンフランシスコ直通の航空券を取ろうとしたが、おそらく同業者の予約で満席であったためロスアンゼルス経由でサンフランシスコ入りするしかなかった。それでもロスアンゼルスに到着すると知っている顔がちらほら。一緒にロスアンゼルス国際空港で時間を潰して旅を続ける。サンフランシスコ国際空港からは地下鉄BARTに乗ってパウエルストリート駅(学会会場とホテルに近い)まで移動。そこからは徒歩でこの一週間お世話になるホテルに向かう。チェックイン後、地震学分野の友人から連絡があって学会0日目のCarnegie Institution Receptionに参加することに決定。この学会の今年の発表数が16000件で、参加者数は発表しない人をカウントすると当然それ以上でしょう。このレセプションに参加する人数も私が知っている「普通」ではない。あまりに多すぎて、逆にあまり知った顔に出会えなかったのが残念だった。

学会会場周辺は食事のできるお店が多く、会場からフィッシャーマンズワーフやチャイナタウンまで徒歩やケーブルカーやミュニメトロを使って簡単に移動できる。頭が疲れた時はモスコニーセンターのすぐ近くにあるサンフランシスコ近代美術館(SFMOMA)で休憩するのも良い。食事や移動に困ることがなく、サンフランシスコは学会開催する場所としては本当に良い街である。

さて、学会は毎日朝8時から18時まで開催され、口頭発表と同時にポスター発表が行われる。口頭発表はモスコニーセンターウエストとモスコニーセンターサウス、ポスター発表はサウスの巨大スペースで行われた。特に惑星探査関連の発表は前半に固まっていた、その中でも特に私は月探査に興味があるためそれ関連の発表を中心に渡り歩いた。実はAGU、口頭発表と同時にポスター発表のコアタイム(発表者個人が自由に設定できて、コアタイムが書かれた紙がポスター横に貼られている。)があるため、見たい発表を選択しなければならない。正直なところ大御所の発表する大御所らしい発表内容よりも、自分と同じくらいの年齢の研究者のポスター発表の方が刺激になる。私は現在日本の月探査機「かぐや」の画像データを用いた研究を行っているため、そのライバルとなるインドの月探査機「Chandrayaan-1」に搭載されたブラウン大学の観測機器M3(Moon Mineralogy Mapper)や、米国の月探査機「Lunar Reconnaissance Orbiter」に搭載されているLROC(Lunar Reconnaissance Orbiter Camera)のデータを利用した研究に興味がある。その中でも興味の湧いた研究について以下にリストアップする(大御所の発表は除く)。

- LROC データを使ったクレーターサイズ頻度分布の飽和を調べる研究(太陽高度依存性についても議論している。)
- LROC データを使ったクレーター形成時に生成されるインパクトメルトの移動に関する研究。



左がモスコニーセンターサウス、Metreon の奥に見えるのがウエスト

- M3 データを使ったモスクワの海に関する研究。
- M3 データを使ったオリエンタル盆地の玄武岩質溶岩に関する研究。
- M3 データや LROC データは利用していないが、これから利用することを想定したシュレーター谷を含むシニユアスリルに関する研究。共著者に Head and Wilson がいて私個人的には脅威 (笑)。
- M3 データを使った Apollo 盆地の研究。ここを研究を土台にして更に月の裏の鉱物分布を議論したそうである。
- M3 データを使った Late-stage volcanism に関する研究。Aristarchus Plateau 周辺の形成年代の若いエリアの鉱物分布を調べている。Late-stage volcanism は olivine リッチであったという研究。
- LROC データを使った Marius Hills の研究 (火山ドーム+シニユアスリルの研究)。
- LROC データを利用した Pyroclastic volcanism (DMD) の研究。
- LROC データを利用した月高地における逆断層分布を調べようとしている研究。
- LROC グループではキャリブレーションサイト (Ground Truth) として Apollo17 号着陸サイトを選んでいるという研究 (「かぐや」では Clementine と同じ Apollo16 号着陸サイトを用いている)。
- LROC データの利用促進させるための Lunar Mapping and Modeling Project (LMMP) の進捗状況の紹介。これはデータ利用 (解析) を念頭においてあり、単にデータ配布のためのシステムではない。チーム内へのシステム β 版リリースが 2009 年 12 月で、一般リリースは 2010 年終わりから 2011 年初めにかけてであるらしい。

いま、若手を含めた多くの研究者の参加によって、探査技術が進歩しただけでなく、データの解析や月の科学的解釈についても、アポロ・クレメンタインの時代から大きく変わろうとしている。探査技術の継承も大事であり、またそれと同じくらいデータの解析技術とその解釈の経験が今後の惑星探査にとって大切になるだろう。そのまっただ中に自分がいることに関して、多くの「かぐや」関係者に感謝したい。

(会津大学)

新刊紹介

月のかぐや

JAXA 編, A4 判, ソフトカバー 141 ページ, 新潮社 (2009年11月5日発行)

ISBN-10: 4103200219 ISBN-13: 978-4103200215, 1300 円 (税別)

本書は、以下の構成でなり立っているが、第1章の写真集パートが全体の3分の2を占め、一般向けのソフトカバー写真集と言ってよい書籍である。第2章以降は、プロジェクト参加者の回顧録や関係者の寄稿、そして月の科学を知る上で重要な基礎知識のコラム記事の3つから構成されている。

第1章 月の名勝地をめぐる (写真集) 第2章 かぐやプロジェクト (回顧録)

第3章 かぐやの科学的発見 (解説&寄稿) 第4章 さようなら、かぐや (寄稿)

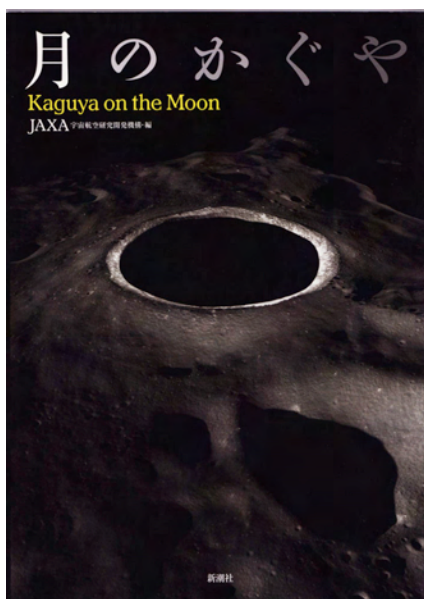
巻末あとがきに相当する『刊行にあたって』にも少し書かれているが、本書は、月周回衛星「かぐや」の立ち上げから関わって来られた武田弘先生の『月で〇〇百名山みたいな景勝地の写真集を出したい』という構想を出発点にしている、JAXA 春山・祖父江氏らが加わって形となったものである。それらを技術的に支えたNHK、NTT データ CCS、三菱スペースソフトウェア、RESTEC、日本宇宙フォーラムといった名前も挙げられており、かぐやの「目」としての役割を果たしたオールキャストで作られている。そのためか、個々人の著者は挙げず JAXA (宇宙航空研究開発機構) 編となっている。

写真集パートの第1章では、最初に JAXA・国立天文台の月レーザ高度計に基づく全球地形図を示して月の地理を紹介してから、月撮像分光器 (LISM) の地形カメラ・マルチバンドイメージャが撮った画像や数値地形図、NHK ハイビジョンカメラの動画を処理したもの、が見栄え良く並べられている。地球と違ってモノトーンの月世界を強調するような黒基調の紙面は、地形そのものが主となる分だけ返って迫力が感じられ、人目を引ける良い編集がなされている。ただし、縮尺のない図

版で名前のついている衝突地形や幾つかの山以外にサイズ記載されていないため、具体的なイメージが掴みにくいページが多々あるのは残念である。しかしそれでも、書店に並べられれば手に取ってくれそうな表紙だし、紙質・画質からしてもお買い得な値段で、手軽に月のクローズアップが楽しめるという点からもお勧めの書籍だ。

巻末『本書の成り立ちについて』で使用図版の出典が示され、さらに『かぐや画像ギャラリー』<http://wms.kaguya.jaxa.jp> が紹介されている。本書後半の回顧録や解説・寄稿記事を読んでもらったうえで、より大きなディスプレイで上記ギャラリーにアクセスすれば、くっきりかつ迫力のある月世界が堪能できるだろう。

(出村裕英)



カナダの衝突構造

R.A.F. Grieve 著, 2006, Impact Structures in Canada. A4 判, 210 ページ, Geological Association of Canada.

地球以外の天体では衝突によってできた凹地を“衝突クレーター”(impact craters) と呼ぶ。これに対して地球上のものを“衝突構造”(impact structures) と呼ぶのは、地形そのものが残されているのではなく、衝突によって形成したさまざまな地質構造を見ているためである。したがって本書でも「衝突構造」と呼んでいる。

地球上で発見された衝突構造は、1950 年代には約 30 個、1970 年代には 50 個、現在では 176 個と増え続けている。その大部分は、盾状地と呼ばれる古くて安定した地域からの発見である。カナダからはこのうち 28 個の衝突構造が発見されており、これをまとめたのが本書である。

最初の“イントロダクション”(1~22 ページ) では、地球上の衝突構造の分布、年代、でき方、衝突構造の地質(衝突変成作用とその分布、地質層序の中にみられる衝突変成作用)、衝突構造の地球物理(重力、磁気、地震構造)などがよくまとめられている。この部分は地球の衝突構造だけでなく、月や惑星の衝突クレーターを考える上でも大いに参考になる。

次の Impact Structures in Canada (23~186 ページ) はカナダの衝突構造 28 個の各論である。読みはじめてしばらくは、Grieve は本書の編者で、各論は多数の執筆者によって書かれていると思っていたが、実は本書は全て Grieve によって書かれたものであった。Grieve はカナダの衝突構造の権威とはいえ、これだけの衝突構造を網羅しての執筆の大変さは巻末の参考文献の数からも想像できる。多くの著者によって書かれている本は、正確ではあるかもしれないが、不均質で読者にとっては読みにくい本が多い。その点、本書のように 1 人の著者によるものは、多少の独断や誤りがあるかもしれないが、読みやすい。

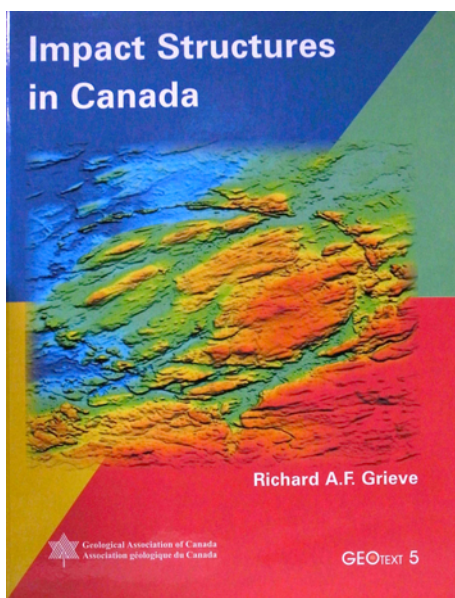
さて、この各論は Sudbury や Manicouagan のように 10 ページ以上にわたる衝突構造もあれば、2 ページしかないものもある。これは、それぞれの衝突構造の研究の進み具合や重要性によるものである。

各論ではそれぞれの衝突構造の概観、形態、地質、化学、物理、年代の順に書かれている。多数の衛星画像、航空写真、露頭写真があってわかりやすい。

最後の“おわりに”では、衝突構造の可能性のある 12 個の構造を取り上げている。このうち 10 個が緯度 70°以北にあるので、調査に行くのはさぞかし大変そうだ。

本書は Amazon.com のようなインターネットの一般書店からは入手できず、Geological Association of Canada の book store (<http://www.gac.ca/publications/bookstore.php>) から直接購入することになる。私の場合には本体価格 \$60 + 送料 \$19 (いずれもカナダドル) がかった。

(白尾元理)



INFORMATION

● 第3回月惑星探査データ解析実習会のご案内

場 所：千葉工業大学津田沼キャンパス 日 時：3月24日(水) 13時～26日(金) 18時

日本惑星科学会の月惑星探査育英会は、各方面から支援を受けて『月惑星探査データ解析実習会』を実施しています。巻頭記事と関連して、興味ある方の参加をお奨めします。今回は「かぐや」データ公開サーバ利用方法、カメラ画像データ処理と解析、が題材です。旅費補助希望者の申込み切は2010年1月22日(金)と早いので注意して下さい。(上記育英会ポータル <https://www.wakusei.jp/news/activities/tansaku/>)

● 『惑星地質ニュース』編集人の募集

白尾元理編集人の交代に伴い、『惑星地質ニュース』では編集に協力して下さる新人を募集いたします。出村 (hirohide@yf7.so-net.ne.jp) までご連絡ください。次号以降は電子版のみの発行となりますので、メールベースの作業・意見交換を主とします。必要に応じて電話や Skype で打ち合わせをします。

『惑星地質ニュース』編集人交代と紙版廃止のお知らせ

白尾 元理

『惑星地質ニュース』では、編集長を置かずに数人の編集人によって発行を続けてまいりました。編集人は1巻(1989年)から16巻(2004年)までは小森長生さんと私で、17巻(2005年)からは出村裕英さんが加わりました。小森長生さんは19巻(2007年)をもって編集人を引退されました。

出村裕英さんも編集に携わってから5年が経ち、十分に経験も積まれましたので、本号をもって私は編集人から退き、次号からは出村さんを中心とした新メンバーで編集・発行していくことになりました。編集人を退くに当たって、いままで『惑星地質ニュース』に寄稿して下さった諸先生方、愛読していただいた読者の方に御礼を申し上げます。

ところで『惑星地質ニュース』は従来の紙版に加えて、2006年からは電子版の発行をはじめました。2008年からは、紙版の購読者からは印刷費・送料として会費1500円(2年毎)をいただき、電子版は無料としました。版組、紙版の印刷・郵送作業、会費管理等は私が行っていました。今後は新メンバーによる編集・発行の負担を減らすために、紙版は廃止することにしました。紙版の購読者の皆様にはご迷惑をおかけしますが、御理解をお願いいたします。電子版は従来通り、PDF形式で発行し、購読希望者に無料で配布いたします。

「かぐや」や「はやぶさ」の活躍によって、日本もようやく自前のデータによって惑星地質研究ができるようになってきました。本誌が発刊された20年前と比べると夢のようですが、日本の惑星科学の中では地質分野が大きく遅れており、「かぐや」では膨大なデータを前にして、茫然としている状況ともいえます。そのような現状を考えると、『惑星地質ニュース』の果たす役割は小さくありません。これからは『惑星地質ニュース』電子版(<http://kumano.u-aizu.ac.jp/PlaGeoNews/>)をご愛読くださるよう、よろしくをお願いいたします。

※ 次号電子版発行時に電子メールで通知が欲しい方は、出村 (hirohide@yf7.so-net.ne.jp) までお知らせください。感想や御意見、取りあげて欲しいトピックについても遠慮なくお寄せください。