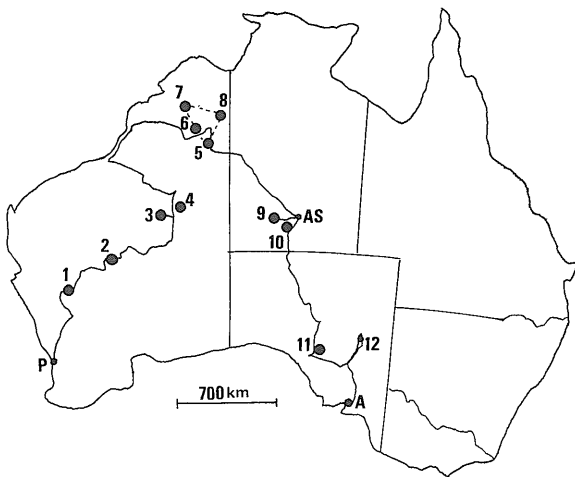


オーストラリアにインパクトクレーターを訪ねて

川上 紳 一¹⁾

毎年夏に開催される国際隕石学会(Annual Meeting of the Meteoritical Society)の1990年の開催地は西オーストラリアの州都パースであった。オーストラリアには隕石の衝突でできたインパクト・クレーターが20個確認されており、この機会にそのうちの11カ所のクレーターを見学に行くというツアー、オーストラリア・クレーター巡検(Australian Craters Expedition)が企画された。クレーター見学ツアーは8月28日から9月16日までの20日間で、オーストラリアのアウトバック(地の果てという意味でオーストラリアの不毛の内陸部をさす)を、車で6,000km走破するというものであった(実際には7,840km!)。第1図にツアーのコースを示す。第1表にオーストラリアで確認されているクレーターに関するデータを示す。以



第1表 オーストラリアのインパクトクレーター (Shoemaker and Shoemaker (1988) による)

クレーター	緯度	経度	直径(km)	形成年代 (m. y.)	衝突天体物質 ¹⁾	衝撃融解物 ²⁾	シャッターコーン ³⁾
Dalgaranga, W. A.	27 38' S	117 17' E	0.024	<0.003(?)	m		
Veevers, W. A.	22 58' S	125 22' E	0.080	<0.004(?)	m		
Henbury Craters, N. T.	24 34' S	133 08' E	0.18 ⁴⁾	0.0042±0.0019	m	e	
Boxhole, N. T.	22 38' S	135 12' E	0.17	0.0054±0.0015	m		
Wolf Creek, W. A.	19 10' S	127 48' E	0.88	~0.5	m	e	
Darwin Crater, Tas	42 18' S	145 40' E	1	0.74±0.04	e		
Goat Paddock, W. A.	18 20, S	126 40' E	5	~55	c		x
Connolly Basin W. A.	23 32' S	124 45' E	9	60±40			
Mt. Toondina, S. A.	27 57' S	135 22' E	3	<100			
Liverpool, N. T.	12 24' S	134 03' E	~3(?)	<140(?)			
Gosses Bluff, N. T.	23 49' S	132 19' E	22	133±3		c	x
Piccanniny, W. A.	17 26' S	128 26' E	7	<360			
Lawn Hill, Qld	18 40' S	138 39' E	~20	>540		c	x
Kelly West, N. T.	19 56' S	137 57' E	10-20	>540			x
Strangways, N. T.	15 12' S	133 35' E	26	>570	s	c	x
Lake Acraman, S. A.	32 01' S	135 27' E	~35	~600	f	c	x
Spider, W. A.	16 44' S	126 05' E	13	>700			x
Teague Ring, W. A.	25 52' S	120 53' E	30	~1600			x
Fiery Creek Dome, Qld	19 13' S	139 13' E	30	~1700			(?)

第1図(上) クレーター巡検のコース。P:パース, AS:アリススプリングス, A:アデレード。
1. ダルガランガ, 2. ティーグ・リング, 3. コノリー・ペーバズン, 4. ベーバース, 5. ウォルフ・クリーク, 6. ゴート・パドック, 7. スパイダー, 8. ピッカニー, 9. ゴッシズ・ブラフ, 10. ヘンブリー, 11. アクラマン, 12. フリンダース山脈のエジェクタ堆積物層。

1) m:隕石が発見されたもの, s:衝撃融解物に親鉄元素が濃集しているもの, f:放出物(エジェクタ)に親鉄元素が濃集しているもの。
2) e:放出物から衝撃融解物が発見されているもの, c:クレーター内で衝撃融解物が発見されているもの。
3) x:シャッターコーンが発見されているもの。
4) 最大のクレーターの直径。

1) 岐阜大学教育学部地学教室: 〒501-11

岐阜県岐阜市柳戸1番1

キーワード: インパクト, クレーター, オーストラリア, 惑星地質

下に、このツアーの見聞録をまじえながら、オーストラリアのクレーターを簡単に紹介する。

オーストラリアクレーター巡検に出発

8月28日早朝。パース市内の西オーストラリア博物館の前に、バス1台、ランドクルーザー5台にトラック1台からなるツアーの車がやってきた。バスはこのツアーのために特別注文したという特殊な形で、四角い角張ったボディに大きなタイヤが目立ち、まさに月面探検車ともいような格好をしている。

ツアー参加者はアメリカから27人、カナダから4人、ドイツから3人、日本から4人、その他ニュージーランド、オランダ、デンマーク、そして地元オーストラリアから7人で(総勢50人)、K/T境界の研究者、惑星地質学者、鉱物学者、地球化学者、博物館研究者など様々であった。日本からの参加者は国立極地研究所の矢内桂三・陽子夫妻、山口大学の三浦保範氏と筆者の4人であった。

ツアーのリーダーは米国地質調査所のジーン・シューメーカー(Gene Shoemaker)とキャロライン(Carolyn)・シューメーカーの2人だ。ジーンはがっしりとした体格で、日に焼けた小麦色の額にしわが刻まれており、たくましさを感じられる。彼は張りのある大きな声でオーストラリアの地質、動植物、歴史などの話をする。ジーンとキャロラインは過去10年近く、オーストラリアのクレーターの調査に来ているという。日焼けはそのためだ。彼が学生だったころ、アメリカではアポロ計画が進行中だったそうで、そのころ彼は月面のクレーター調査に行きたいという夢を抱いていた。しかし、月面旅行の夢は実現せず、かわって地上のインパクトクレーターの地質調査を精力的に行っている。また、ひと月に一度(新月の夜)、パロマ山に登り、スモール・アイという愛称で呼ばれている天体望遠鏡を駆使して地球のそばを横切る小惑星や彗星の観測や発見を行っている。キャロラインは1984年の10か月間に5個の彗星を発見している。驚異的な記録だ。これまでに彼女の発見した彗星は全部で18個。新記録をめざして大変な意気込みだ。

なぜクレーターの研究が重要なのか。その理由は数多くある。固体惑星の表面地形で最も普遍的に見られるものがクレーター地形であり、クレーターの科学は惑星地形学や地質学の基礎として内容の濃いものとなっている(例えば、King, 1976; 水谷, 1980; Melosh, 1989)。また、クレーター形成過程は太陽系の衝突現象の一つとして、微惑星の成長(惑星形成)、小惑星や隕石の起源、ひいては地球の化学組成、成層構造、大気・海洋の起源にまで

関わる重要な研究テーマとなっている。さらにK/T境界における天体衝突による恐竜絶滅説によって、衝突現象と気候変動、生物の絶滅、地球磁場の逆転との関係も注目されている。衝突の証拠としてのイリジウムの濃集や岩石・鉱物の衝撃変成作用など、物質科学的側面も重要な課題となっている。一方、将来地球と衝突する可能性のある天体の数、衝突頻度や小惑星、彗星の軌道の擾乱、落下隕石の起源は観測天文学や天体力学に新たな課題を提起している。また、地上のインパクトクレーターの認識の歴史も科学的に興味深いものがある(Mark, 1987)。惑星形成過程や惑星地質学に興味を抱いている筆者にとって、ツアー参加者にK/T境界など地球を研究対象としている研究者が多いことが印象に残った。

我々一行は一日中バスにゆられながら、一路北を目指して走り続けた。当日中に最初の目的地ダルガラング(Dalgaranga)の近くでキャンプすることになっていたのだが、夕日がすでに沈みかけているのに目的地まではまだ長い道のりである。これからどうするのかと思っていると、いきなり道路脇のブッシュの中で停車した。ここが今日のキャンプ地なのだ。車を降りるとみんながあちらこちらからキャンプファイヤー用の薪を捜して来る。トラックからテント、マットレス、寝袋、イスやテーブルが降ろされ、それぞれ適当な場所を選んでテントを張った。突然、背の高い痩せたスペイン人風の男が声をかけてきた。『テントマ(メ)イトはきままっているのか』『まだ……』と答えるだけで彼とテントを共有することが決まった。トラックに寝袋を捜しにいくともう一つも残っていない。ツアー会社のリーダーのところに行ってしばらく捜してもらったがどこにもない。『今日はこれで寝てくれ』と言って毛布を一枚渡された。これでは寒くて凍えてしまいそうだ。キャンプ初日にして早いもの勝ちの精神が骨身にしみた。

一通り荷物の整理が終るとあたりはもうすっかり暗くなっていった。夜になるとめっきり寒さが増し、みんな焚火のそばに円陣をくんで夕食の用意ができるのを待った。あたりに光はなく、空は澄んでいる。まるで大地がいきなり真空の宇宙と接しているようだ。満天に無数の星々が浮かびあがる。南十字星とケンタウルス座は一際輝いて見える。天の川は星が密集して雲のようだ。天頂にはさそり座が大きく広がって見えた。夜が更けるまえに床に入ったがさすが大陸性気候。深夜にはいっそう冷え込んでよく寝られなかった。

ダルガラング・クレーター

翌朝6時に起床。まだ日の出前だ。朝食のメニューは
地質ニュース 444号

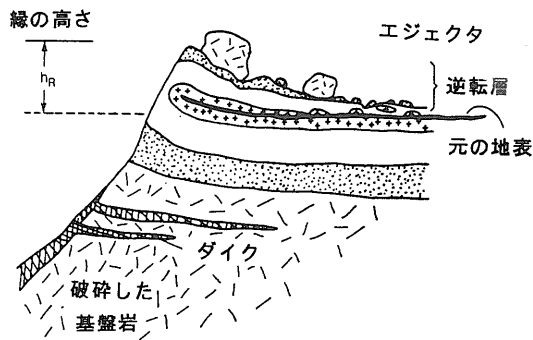
大麦とコーンフレークにミルクをかけたものであった。大麦はビタミンが多いというが、なんとなく鳥の餌のようであまいものではなかった。

朝食の後始末をして、午前8時すぎにダルガラングを目指して出発した。まわりはマルガという(マメ科)低木のブッシュで、時々車のエンジン音に驚いて逃げて行くカンガルーやエミューを見かけた。最初のクレーターはダルガラング農場の中にある。やがてブッシュの中にポツンと建つ農場主の家に到着する。日本とは全く異なる孤立したライフ・スタイルだ。農場主の案内でクレーターへ向い、午前11時頃到着した。

ダルガラング・クレーターは直径24m、深さ3mの小さいクレーターである(写真1)。クレーターの中や周囲にはマルガが生い茂っている。それでも初めて見る天然のクレーターとしては迫力十分であった。

このクレーターは1938年、西オーストラリア政府に勤務する鉱物学者エドワード・シンプソン(Edward Simpson)によって最初に記載された。彼はここから42gの鉄隕石の破片を持ち帰り記載した。1959年この地を訪れたナイニンガーとハスはこのクレーターを記載し、隕石破片の探査を行っている(Nininger and Huss, 1960)。

このあたりの基盤は花崗岩で表層はラテライト化している。クレーターはこのような地質の上に形成されたもので、クレーターの縁にはえぐられるように変形したラテライトのブロックが認められる。一般的に、クレーターの縁では地層がめくれ返って、二枚重ねのようになり、ひっくり返った地層は上下が逆転して下位の地層の方が上になる(第2図)。足元のブロックがちょうど地層が折れ畳まれた部分のつけねの部分(ヒンジ)に相当するらしい。また、周囲にはクレーターから放出された角れき岩が散在している。クレーターからの放出物は、エジェクタ(ejecta)と呼ばれている。クレーターの内壁側面にある固結した角れき岩(ブレッチャ)には石英粒子が



第2図 クレーターの縁の形態の模式図。Melosh (1989) による。縁の逆転した地層 (overturned flap) の形態が特徴的。縁の盛り上がりは、逆転して2枚重ねになった物質だけでなく、クレーターの形成に伴う塑性流動や、ダイクの形成による寄与もある。

含まれ、母岩が花崗岩であることが推察される。

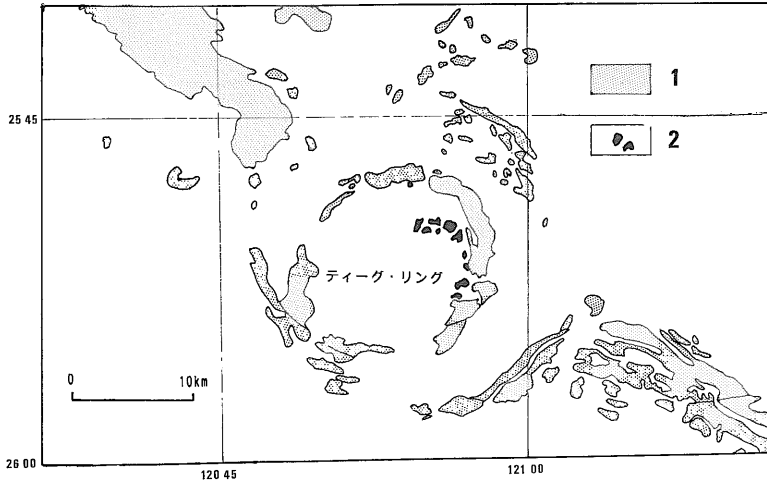
最近、ジーン・シューメーカーは、このクレーターの平板測量を行うのと同時に、カリフォルニア大学サンディエゴ校の西泉邦彦氏やキャンディ・コール (Candace Kohl) さんと一緒に宇宙線照射によってできる放射性核種¹⁰Beを用いてクレーター地形の侵食速度の推定を行っているという。形成されたクレーター地形がどのくらいの時間が経過するとかき消されてしまうのかを推定することは、クレーターの生成率を見積る上で最も重要な要素となる。クレーターの侵食率はその大きさにも依存するので、西オーストラリアのクレーターを系統的に調査する意義は大きい。昼食後、このクレーターを後にし、次の目的地へ向かった。

ティーグ・リング

ティーグ・リング (Teague Ring) クレーターは、南部の始生代のイルガーン地塊 (Yilgarn block) と北部の初期顕生代の境界にあるナベル盆地の中央に位置している。このクレーターの形成時代は古く、地形からはここにクレーターがあるかどうか見当がつかなかった。ティーグ・リングがインパクトクレーターである可能性を最初に指摘した人物はバター (H. Butler) という人であり、1974年のことだ (Butler, 1974)。西オーストラリア地質調査所発行の地質図「ナベル (Nabberu)」にはティーグ・リングの円形構造が顕著であり (Bunting et al., 1982)、クレーターの中心に基盤の花崗岩類が顔を覗かせている (第3図)。地質図からこのクレーターの直径は約30kmであると推定されている。Bunting et al. (1980) によると、基盤の花崗岩類の Rb/Sr 年代は約2400m. y. であり、衝撃を受けた岩石の年代は約1600m. y. だ。こ



写真1 ダルガラング・クレーター。直径24m。



第3図(左)

ティグ・リング周辺の地質図。地図の横幅が約50km。リング状に露出している地層がエアラヒーディ層群(1)。その内側に点々と基盤の花崗岩類(2)が露出している。周辺は第四紀の堆積物で覆われている。

写真2(下)

ティグ・リングの閃長石の露頭。

の値はオーストラリアのクレーターの中では古い方から2番目であり(第1表), 地形に形態がはっきり現れていないのも無理はない。

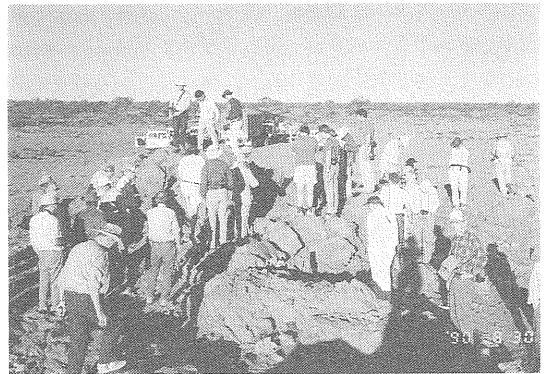
バスに長いことゆられ、ようやくクレーターの西縁に到着した。遠くに見える地平線が反対側のクレーターの縁なのだそう。果てしなく平坦でマルガという低木が繁っており、クレーターの中を眺めているという実感は全くない。周囲にある顕生代初期(17~20億年)のエアラヒーディ層群(Earaheedy Group)の砂岩やシルトの露頭を観察した。

これから、このクレーターの中を横切って、中央丘に露出している衝撃を受けた基盤岩を観察する予定だ。我々の乗った車は狭い曲がりくねった道路を、周りの樹木の枝をかき分けるように進んでいった。このあたりからオーストラリアのアウトバックに特徴的なスピニフェックス(spinifex)という刺々の草が見られるようになった。また、低地には塩分濃度の高い土壌でも生育できるソールトブッシュ(samphire)が一面に生い茂っている。相変わらずカンガルーやエミューはよく見かけた。

中央丘の露頭(写真2)に到着した時にはもう日はかなり傾いていた。露出している岩石は基盤の閃長岩であった。衝撃を受けた岩石に特徴的な割れ目や、衝撃によって融解してできたと思われる黒っぽい色をしたシュードタキライトのペインを観察した。

西の空は夕日でオレンジ色に染まり、地平線にそってひとときわ赤が映える。はるかかなたのクレーターの縁とマルガの木立は逆光で黒くシルエットを写しだしている。この日はティグ・リングの中でキャンプをすることになった。半月の月明りが結構明るい。あちこちに立てられたテントが月明りで浮き上がって見える。

翌朝、クレーターの南東の縁へ向かって出発し、縞状



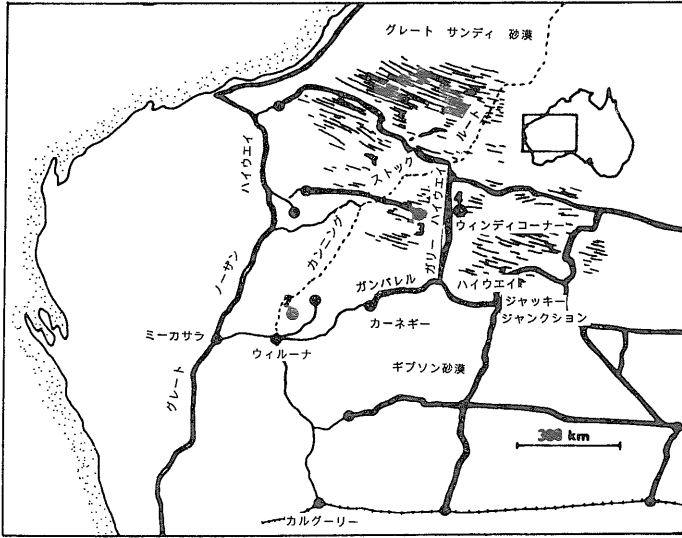
鉄鉱床の露頭で停車した。一面黒っぽい縞状鉄鉱床のれきだ。クレーターの縁に近づいており、緩やかに傾斜した丘陵地を地層の走向にそって露頭を追跡した。ジーンによると縞状鉄鉱床の岩石にもシャッターコーンが認められるものがあるという。

コノリー・ベーズン

ガリー・ハイウェイ(第4図)にはいって道はさらに悪くなった。それでも時速60kmで突っ走る。午後3時頃ウィンドーコーナー(Windy Corner)に到着する。クレーターはここから西へしばらくいったところにあった。

このクレーターは直径9kmで、約6千万年前に形成された。クレーターの北東の端には、白亜紀のサミュエル層の砂岩やシルト岩が露出していた。もう日はかなり傾いており、あまり時間の余裕がない。試料を採集してから、車で中央丘へ向かった。

オーストラリアにはクレーターが多く発見されているが、未発見のものもかなりあると考えられている。1984



第4図 アウトバックを縦横に走る道路。太い実線はレン・ビーデルによって建設された道路。2：ティグ・リング，3：コノリー・ベーズン，4：ベーパーズ・クレーター。



写真3 コノリー・ベーズンの航空写真。写真の横幅が5.75km。

年ジーン・シューメーカーは地質図や航空写真をたよりにクレーターらしき構造を捜していた。そして西オーストラリア地質調査所発行の地質図「モリス (Morris)」(Crowe, 1979) に直径10km 程の円形の構造を発見した (Shoemaker and Shoemaker, 1986)。この周辺は沖積層

やラテライトで覆われていて基盤の構造はわからないが、航空写真をみると、このクレーターは円形の窪地になっているらしく、小規模の水無し川が中心に向かっている (写真3)。ジーンはこのクレーターにコノリー・ベーズンと名づけ、正式名称として認められた。

この構造が岩塩ドームであれば石油が出る可能性があるというわけで、ジーンらの訪れる3年前の1981年にある石油探査会社が反射法地震探査を行った。得られた結果は、コノリー・ベーズンがインパクトクレーターであることと矛盾しない (Shoemaker and Shoemaker, 1986)。

中央丘に近づくとき地表にれきがごろごろ転がっていた。地形的にも数mぐらい盛り上がっている。日没をむかえた夕焼けのなかで、クレーターの形成によって斜めに傾いた地層を観察した。長い道のりを辿ってやってきたわりにはあっけなかった。

ベーパーズ・クレーター

狭い道を進んで行くと、一面スピニフェックスの草原の真真中に形のいいクレーターが浮かび上がった。直径80m、深さ7mで、縁は周囲の平原よりわずかに盛り上がっている。このクレーターは、1974年に鉱物資源省 (Bureau of Mineral Resources) と西オーストラリア地質調査所の合同調査でたまたま発見された (Yeates et al., 1974)。1950年代にカンニング・ベーズンの地質調査を行ったマックアイアー (Macquire) 大学のベーパーズ教授 (J.J. Veevers) にちなんでベーパーズ・クレーターと名づけられた。このクレーターの縁をぐるっとまわりながら逆転して二枚重ねになったラテライトの地層 (overturned flapp) の形態を観察した。縁ではめくれかかったラテライトのブロックやひっくりかえったブロックが転がっているのがよくわかった。このクレーターでも鉄隕石の破片が発見されている。

ガリー・ハイウェイ

ベーパーズ・クレーターから北へ向かうと砂丘が果て

しなく続き、車はそれに平行して進んでいった。このあたりは南緯23度ぐらいで、午後の日差しはかなり強い。こんな砂漠の真ん中にも結構たくさん道路がある（第4図）。これらの道路の建設の物語は「End of Era」という本の中に書かれている（Beadell, 1983）。この本は、これらの道路を造ったレン・ビーデル（Len Beadell）の自伝であった。彼はウォーメラ（Woomera）のロケット発射場やエミュー（Emu）核実験場建設のため、中央オーストラリアの探検を行い、ガンバレル・ハイウェイ、ガリー・ハイウェイなどを1958年から1960年に建設している。彼はこれらの業績で1958年に英国王室勲章を授けられている。

道路や道しるべが全くない当時、彼らは毎日のように星を観測しては自分の居場所を確認し、道路の方向を決めていった。アウトバックの探検家の旅はまさに陸の航海といってもよい。ビーデルはアウトバックの最後の探検家であった。彼は自分の建設した道に自分の子供達の名前をつけており、砂漠の真ん中に道路を建設することに情熱を傾けていたことが伺える。

今ではビーデルの造った道路を通して旅行する者はあまりいない。しかし、我々が見てきたコノリー・ベーズンとペーパーズ・クレーターは、これらの道路がなければ、地上からのアクセスは不可能である。ジーンとキャロラインは、パロマ山で1988年に発見した小惑星にビーデルと名づけ、彼の業績を讃えた。この話を知ってから、狭くてがたがたしたガリー・ハイウェイに愛着を感じるようになり、オーストラリアで最も素晴らしいハイウェイのようにさえ思えた。

ウォルフ・クリーク・クレーター

ホールズ・クリークの町から100kmほど南にカランヤ（Carranya）農場がある。ウォルフ・クリーク・クレーターはここから車で10分程のところにあった。高さ30m くらいの小高い丘の緩やかな斜面を登って行くと、急に視界が開けて円形のくぼ地が視野いっぱい広がった（写真4, 5）。クレーターの底の中心には直径約380m の範囲にわたって、ブッシュが密集して生えていて緑がまぶしい。その外側からクレーターの縁にかけては、スピニフェックスが生えていてうすい緑と赤茶けた地肌が朝日に照らし出されている。直径約900m、深さ30m、内側の縁は急斜面になっていて、先カンブリア時代末の砂岩の巨れきがごろごろしている。

この地域で古くから生活しているアボリジニー（ジャール族, Djaru Tribe）の間では、このクレーターはカンディマラル（Kandimalal）と呼ばれており、それにまつわ

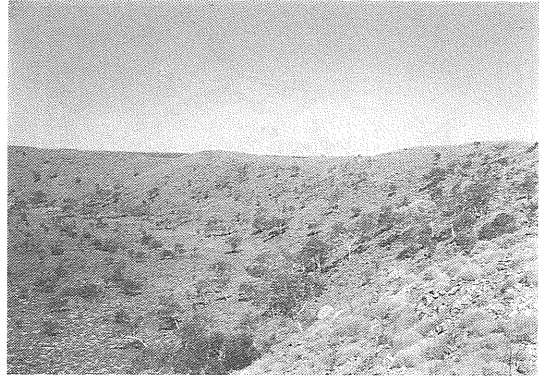


写真4 ウォルフ・クリーク・クレーター。

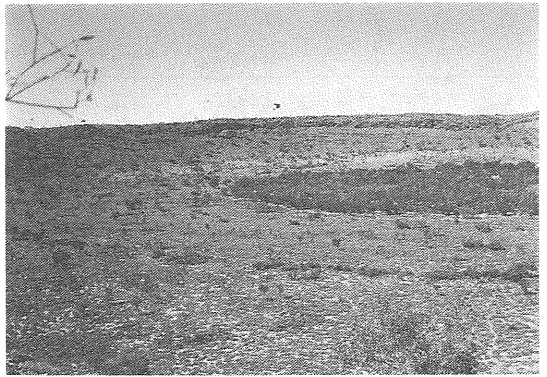


写真5 ウォルフ・クリーク・クレーター。クレーターの底には直径380mのブッシュの繁った部分がある。

る神話が残っている。大地の創造主である虹色の蛇が、地表へ這い出してきた穴がウォルフ・クリーク・クレーターなのだそう（McNamara, 1982）。

このクレーターが西洋人に知られるようになったのは1947年のことである。発見者はリーベス（F. Reeves）らで、カンニング・ベーズンの航空測量を行っていた際に、たまたまこのクレーターの上空を飛行していて発見した。1969年にはオーストラリアの特別保護地域に指定された。その地質構造はMcCall（1965）によって調査されている。また、Fudali（1979）は、重力測定を行って、風化が進む前のクレーターの形態を推定している。このクレーターは約50万年前に形成されたものであり、クレーターの底には厚い堆積物がたまっている。

南西の縁の頂上には、垂直に変形した砂岩層が縁にそって追跡できる。所々にラテライトが露出しているところがある。これが衝突前の表層を覆っていた物質で、ラテライトの上を捜すと衝突した鉄隕石のかけらであるシェールボールが見つかった。持ってみると結構重い。シェールボールは採集してはいけないことになっている。

シュールボールは数 cm から 10 cm ぐらいの大きさのものも多く、パン皮状の表面が特徴的である。酸化鉄の他に FeNi 炭酸鉱物 (reevesite), CaNiMg 磷酸鉱物 (cassidyite), Ni 珪酸塩 (pecoraite) などが含まれている (McCall, 1965; McNamara, 1982)。ウォルフ・クリーク・クレーター周辺からすでに 1,000 kg 以上のシュールボールが回収されている。

クレーターの形成は、巨大な爆発現象であると考えてもよい。衝突によって衝突天体の運動エネルギーは一瞬のうちに熱エネルギーに変わり、衝突天体の運動量はその何 100 倍もの物質を飛び散らして巨大な穴をあける。衝突した天体と衝突点付近の物質は高温高压状態になり、蒸発や融解してしまう。従って、巨大なクレーターでは隕石のかげらを捜すのは容易でない。ウォルフ・クリークはちょうど手ごろな大きさであり、がれきの山を歩いて隕石のかげらや、クレーターに特徴的な縁の形態をいろいろ観察することができた。しかし、クレーターの縁から採集された岩石には、今のところ衝撃変成作用の痕跡は発見されていない。

空からの眺め

ウォルフ・クリーク・クレーターの見学の後、セスナに乗り込んで、空からクレーターの見学に出発した。太陽が真上から照りつけている。大地は地肌の赤とスピニフェックスの黄緑によって様々な模様を織りなしている。赤っぽい模様は洪水の跡だろうか。陰がないので起伏はわかりにくいだが、大地の縞模様から地層の走向や分布がよくわかる。やっぱり大陸、日本の地質とまるで違う。とにかくスケールが大きい。そうこうするうちに最初のクレーターに着いた。

ゴート・パドック・クレーター (Goat Paddock) はリング状に基盤が露出している。直径は約 5 km。切り立ったリング状の崖の高さは 100~150 m ほどで風化や侵食をかなり受けている。写真 6 に航空写真を示す。クレーターの北西側の縁は一段と切り立っており、円形構造が顕著であるが、南部では周囲の平原の起伏が大きく、縁の盛り上がりの連続性は悪い。

1964年、鉱物資源省 (Bureau of Mineral Resources) と西オーストラリア地質調査所が合同でこの地域の地質調査を行った。その際にこの構造がクレーターである可能性

が指摘された。しかし 1968年に発行された地質図「マウント・ラムゼイ (Mount Ramsay)」には円形構造が読み取れるものの解説書には全く無視された。1972年には、これがキンパーライト・パイプかどうかを調査するため、鉱山会社がボーリング調査を行っている。1979年にこの地を訪れたハームスらはシャッターコーンや石英粒子にラメラができていることを確かめ、衝突起源であることを明らかにした (Harms et al., 1980)。このクレーターの形成年代は 5,500 万年前と推定されている。

セスナはつぎのクレーターであるスパイダー (Spider) へ向った。小一時間でスパイダー (蜘蛛) が視野にはいった。中央丘から放射状にリッジが伸びており、まるで巨大な蜘蛛のようだ (写真 7)。これがクレーターだなんて驚きだ。航空写真を写真 8 に示す。一つひとつの“足”は白っぽい色の丘で浮き上がって見える。“蜘蛛の足”はクォーツァイトの地層が衝撃で屋根瓦のように変形したものだ。

1965年にハームスらは、見かけ上蜘蛛のような形態をしたこの地質構造が衝突起源ではないかと指摘した (Harms et al., 1965)。ここは地上からのアクセスが困難なため、最近まで詳しい調査は行われていなかった。1977年にこの地をヘリコプターで訪れたアーント (C. Arndt) はシャッターコーンを確認している。このクレーターの形成は 7 億年以上前の出来事であり、円形の窪地とは全

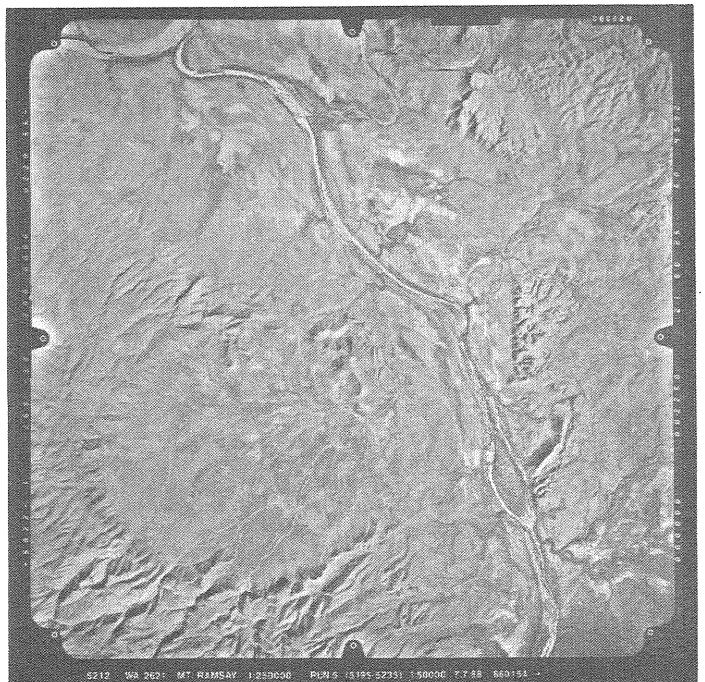


写真 6 ゴート・パドックの航空写真。写真の横幅が 5.75 km。

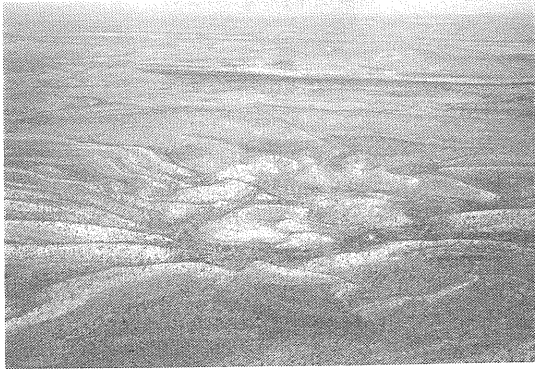


写真7 スパイダーの眺め.

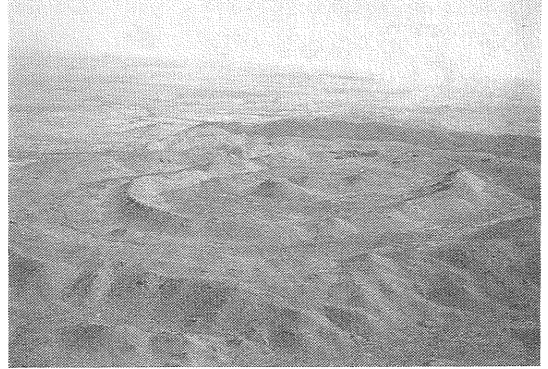


写真9 ピッカニーの眺め.

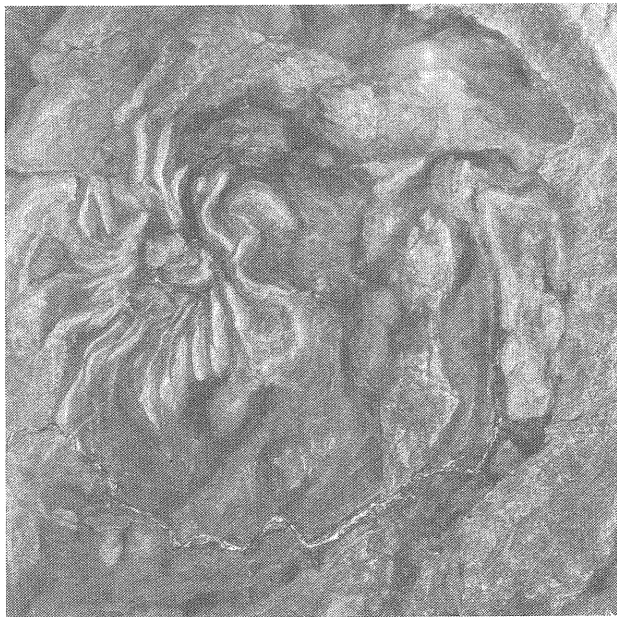


写真8 スパイダーの航空写真. 写真の横幅が2.9km.

くかけはなれた構造をしているのも無理はない.

セスナは一路東へ向かう。行く手にごつごつした岩が奇妙な景観を織りなしている。これがピッカニー・クレーター (Piccanniny) のあるバングル・バングル (Bungle Bungle) 地塊だ。ピッカニーはバングル・バングル地塊の南縁にあった (写真9)。ようやく同心円状の丘がみえてくる。ピッカニーは大地の窪地ではなく中心にドーム状の小高い山が二つあり、リング状の丘がそれらを取り囲んでいる。直径は7 km だ。西日に照らされて地形がくっきり浮き上がっている。このクレーターはジーン・シューメーカーらによって調査されているが、詳しい報告は発表されていない。この地域の地質図「ディクソン・レンジ (Dixon Range)」にはピッカニーは全く無視されている。

セスナは一路南へ向かった。前方にウォルフ・クリーク・クレーターが見えてきた。赤茶けた大地、ひととき赤みを帯びたクレーターのリング、濃いグリーンをした中心のブッシュ。午前中に歩いたところだ (写真10)。クレーターの西斜面から東へ黒い陰がのびて見える。セスナは再び大きく旋回し、我々のキャンプの真上を飛んで近くの飛行場に降りた。

ゴッズ・ブラフ

いよいよゴッズ・ブラフ (Gosses Bluff) に出かける日がきた。時々リバーガム (river gum) のうっそうと生える水無し川を越える。車は川へ向かって急降下し、その勢いでかけ上がる。2時間近く車に揺られると前方にゴッズ・ブラフが見えてきた。近づくにつれてゴッズ・ブラフは赤茶けた急崖をさらけだし、迫力のある姿でそびえ立っている。

ゴッズ・ブラフは、アマデウス・ベーズン (Amadeus basin) という古生代の堆積盆に形成され



写真10 ウォルフ・クリークの眺め. 直径約900m.

た約1.3億年前のクレーターである (Milton et al., 1972). 現在では侵食が進み、中心部に直径5kmのリング状の高まり(外輪山)が残っているのみで、クレーターの縁がどこなのか地形からは読み取れない。外輪山は多数の断層で切られたブロックの集合から構成されており、衝突前に水平成層していた地層は、クレーターの中心へ向かって盛り上がり、ほぼ垂直になっている。中心に向かうほど下位の地層が露出している(第5図)。

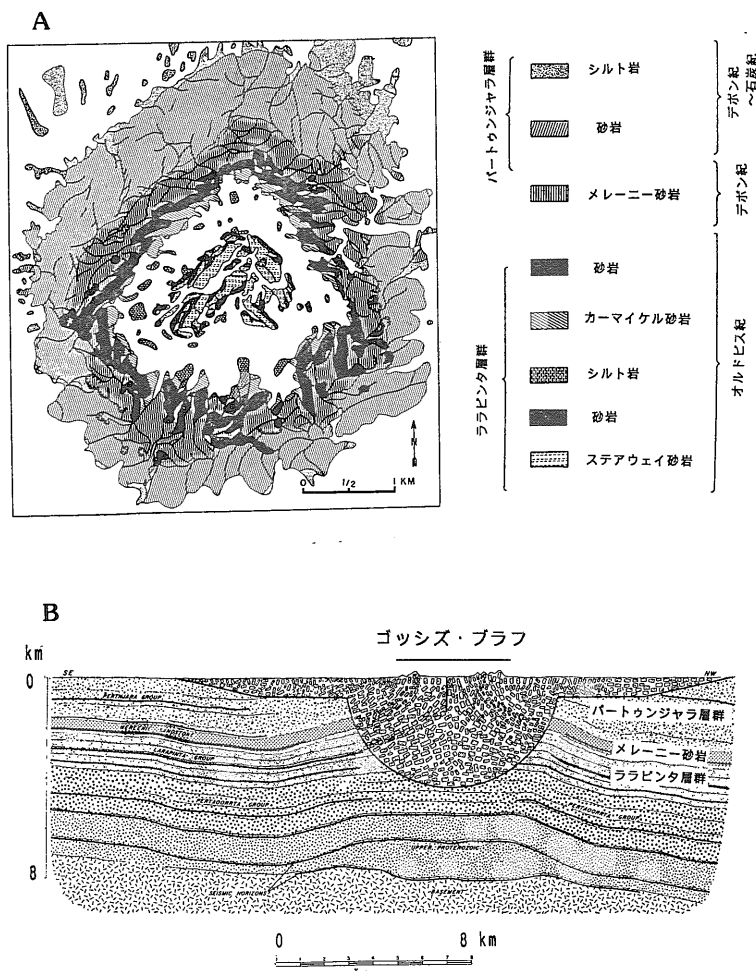
ゴッシズ・ブラフの最初の地質学的調査は、鉱物資源省のプリチャード(C. Pritchard)とクインラン(T. Quinlan)によって行われた。彼らは、先カンブリア時代の地層が可動層としてダイアピル状に上昇し、ゴッシズ・ブラフが形成されたと考えた。1960年代になって、鉱物資源省のクック(P. J. Cook)が詳細な調査を行って、石英粒子の変形ラメラなどを記載して以来(Cook, 1968)、潜爆発(crypto explosion)説が有力視されるようになった。この説では、何らかのメカニズムで爆発が起こってクレーターが形成されたとするものであるが、その原因については明らかではなかった。その後、

高速度の衝突によって爆発と同様の現象が起こることがわかり、衝突説が支持されている(Milton et al., 1972)。

外輪山の脇には、上位の細粒赤色砂岩層が露出している。足元にはまわりの山と同じ色の砂岩がごろごろ転がっている。転石の中に衝撃を受けた岩石に特徴的な破断面を持つものを見つめることができた。

ゴッシズ・ブラフの中心へやってきた。外輪山が我々を取り巻いている。どちらの方向も似たように崖が切り立っている。足元の地層は、オルドビス紀の砂岩だ。ここでは、特徴的な破断面を持つ形のいいシャッターコーンがたくさんあった(写真11)。

西の外輪山の頂上を目指して登っていくと、次第に視界が開け外輪山の外に限りなく続く平原が見えてきた(写真12)。地層面は垂直に切り立っている。直径1m以上もの三角錐形をした典型的なシャッターコーンも多数



第5図 ゴッシズ・ブラフ周辺の地質図(A)および地下構造(B)。Milton et al. (1975)による。

認められる。このあたりはデボン紀初期の粗粒の白色砂岩層(Meleenie sandstone)が露出しており、シャッターコーンの表面も大変新鮮だ。前方の岩山(写真13)にたどり着くと、黒っぽい色をしたブレッチャのマトリックス中にシャッターコーンに特有な破断面を持つメレーニ砂岩が埋まっているのを見つけた。ここから見渡すとゴッシズ・ブラフの円形の低地、それを取り囲む外輪山の山々が連なって美しい。

写真14に、ゴッシズ・ブラフで採集した岩石に認められた石英粒の薄片写真を示す。石英粒子に方位の異なる変形ラメラが多数認められる。

ヘンブリー・クレーター群

アリスプリングスをあとにし、約100km南のヘンブ

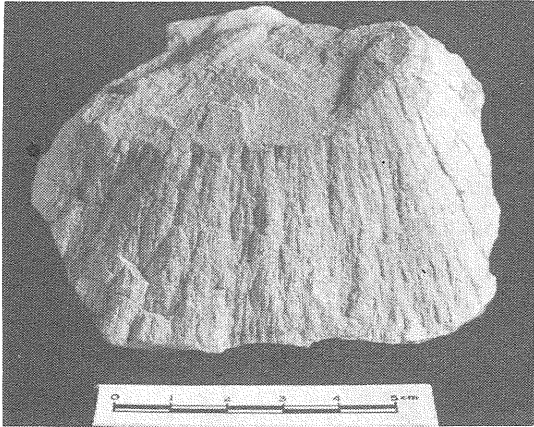


写真11 ゴッスズ・ブラフで採集したシャッター・コーン。



写真12 ゴッスズ・ブラフの外輪山。



写真13 ゴッスズ・ブラフの外輪山の頂上。

リー (Henbury) へ向かう。ヘンブリー・クレーター群は交通が便利なこともあって公園になっている。クレーターの分布を第6図に示す。車から降りるとさっそくヘエの歓迎を受けた。

クレーターNo.1とNo.2はすでに消え去っており、どこがクレーターなのか全くわからない。クレーターNo.



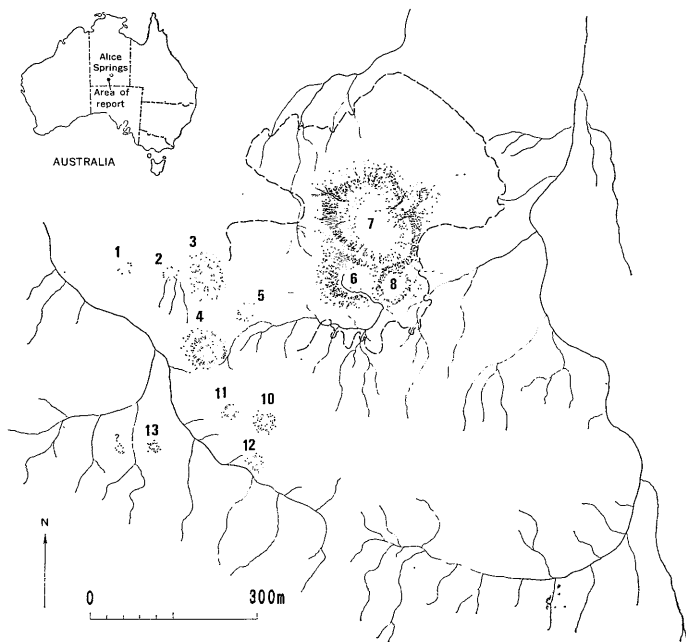
写真14 変形ラメラの発達した石英粒子。写真の横幅が0.44mm。

3. これは直径60m、深さ4mぐらいのクレーターだ。このあたり一帯の地表は段丘れき層で覆われており、白っぽいこぶし大の砂岩やチャートのれきがラテライトの砂と混りあって転がっている。クレーターの内部は先カンブリア時代末の砂岩や頁岩からなり、クレーターの北側には黒っぽい比較的大きなれきが放射状に配列している。これがエジェクタ堆積物であることが容易にわかる。

このクレーターは1931年に地元の人によって発見された。その年の5月、アルダーマン (A. R. Alderman) が現地へ行き、大小13のクレーターを記載し、多数の鉄隕石を回収している。1965年までのヘンブリー・クレーター群の研究史は、Hodge (1965) にまとめられている。

発見以来、このクレーター群は学会等で大変な話題となった。鉄隕石の破片や衝撃で融解し、急冷されたと考えられる物質 (インパクトタイト) も同時に発見されたからである。当時はクレーターが隕石の衝突でできたとする考えに対する反論が大きく、ヘンブリーでの鉄隕石の発見は衝突説を指示する格好の材料と見なされた。その後、Taylor (1966, 1967) は、インパクトタイトの化学組成を分析し、衝撃を受けるまえに地表を覆っていた岩石と同じ組成であることを明らかにしている。また、米国地質調査所のミルトン (D. J. Milton) らは、1963年からクレーターの形成に伴う地層の変形の記載をおこなっている (Milton and Mitchell, 1965; Milton, 1968)。

クレーターNo.3から東へ目を向けると、なだらかな平原の一角にブッシュがうっそうと繁ったところがあった。その周囲は比較的地形が高く盛り上がっている。クレーター群6, 7, 8だ。まずメイン・クレーターNo.7の中をのぞく。直径180m、深さ10m、北西-南東方向に長くなっており、これは2つのクレーターが同時にできたものらしい。クレーターNo.6は河川の開析が進んでいる。直径は約90m。クレーターNo.6とNo.7に肩をよりそうようにクレーターNo.8がある。直径は70m。



第6図 ヘンブリークレーター群の配置図。Milton (1968) による。

中心付近はお花畑のように黄色い花が満開だ。

再び西へ向かって数10m歩いて行って No.4 を見学。ウォルフ・クリーク・クレーターやゴッズ・ブラフを見てきただけに、ここでのクレーターは地表にできたっぽけな穴ぐらいにしか印象を受けない。しかし、基盤の地層の走向は東西で南へ一様に傾斜しているため、衝突によって変形した地層を観察するには都合がよい大きさであった。

クレーター No.4 の近くで鉄隕石のかけらを採集することができた。それらは、ウォルフ・クリーク・クレーターで観察したシェールボールのように表面がでこぼこしていてすぐに他の小石と区別がついた。採集した鉄隕石は直径1~2cm以下の、容易に壊れてしまいそうな小さいかけらばかりであった。

レイク・アクラマン

レイク・アクラマン (Lake Acraman) クレーターは、1986年ジョージ・ウィリアムスによって発見された (Williams, 1986, 1987)。衛星画像から推定されたクレーターの直径は大きく見積ると100km以上に達する。その形成年代は約6億年前と推定されている。

我々は、ヤルディア (Yaldea) 農場を後にし、アクラマン湖の中心に露出している原生代 (約16億年前) の火山岩類であるヤルディア・デイサイトの基盤岩を見学に向かった。もうとっくにクレーターの中に入っているが、

規模が大きいうえ形成年代が古く、周囲の地形からは、ここがクレーターの中にいることは全く想像できない。

泥んこになって1時間半ほど歩いて行くと、ようやくレンガ色の岩が所々に見えてきた。シャッターコーンに似た表面をもつ岩石も見つかった。多くのものは風化していて新鮮なものはない。地面を這うように岩体の上を歩いていると、衝撃によってガラス化したと思われるシュードタキライトの黒っぽいペインが形成されているのが見つかった。

このクレーターの形態や物的証拠に関する情報は乏しいが、ここから放出された物質が、数100km離れたフリンダース山脈で発見されたため、注目を集めた。

フリンダース山脈のエジェクタ堆積物

アクラマン湖をあとにし、フリンダース山脈 (Flinders Range) にある、レイク・アクラマン・クレーターからの放出物 (エジェクタ) の露頭観察に向かった。ここは国立公園とあって景色も良い。緑いっばいの羊牧場の中を北東に走る。朝日の中で何もかもが美しい。昼過ぎに目的地である谷に到着した。

川底に赤レンガ色の頁岩が露出している。そのなかに幅数10cmの青色に変色した帯が走っている。青緑色をした帯状の頁岩層の真ん中に、ざらざらした感じの粗粒の堆積物 (エジェクタ) が挟まっている。層の厚さは数cmに満たない。エジェクタを構成する粒子は下位から上位へ向かって粒度が細かくなっている。

フリンダース山脈一帯は先カンブリア時代末から古生代にかけて巨大な堆積盆地で、この時代の堆積物が連続的に堆積している。先カンブリア時代末のエディアカラ生物群の化石が豊富であることでも有名だ。アデレード大学の堆積学者ビクター・ゴスチン (V. Gostin) は、これらの地層の堆積年代を正確に決めるため、堆積物中に挟まれる火山性堆積物を捜していた。そして偶然、この堆積物を見つけ、喜んで研究室へ持ち帰った。研究室で顕微鏡を覗いていた彼は失望した。採集した岩石は火山性物質ではなかったからだ。

では一体この堆積物はどこから来たのか。いろいろと考えを巡らしたゴスチンの脳裏に一つのアイデアが浮かんだ。『ひょっとしたらどこかのインパクトクレーターから来たのでは』そう思ったゴスチンはもう一度薄片を

調べた。衝撃を受けた岩石に特徴的な石英粒子のすじ状の模様(変形ラメラ)を見つけた。この堆積物の絶対年代は先カンブリア時代の値を示していた。

ちょうどその頃、ジョージ・ウイリアムスは衛星画像をもとにアクラマン湖周辺の地質を調べていた。そして湖を中心とする巨大な円形構造があることに気がついた。他の衛星画像で見るとそれは直径100km以上もあるように見えた。彼はこれがインパクトクレーターではないかと妄想を抱き、それを証明するために基盤岩の露出している露頭を捜してサリーナの中をかけめぐった。そしてやっとの思いで見つけたのが、今回のツアーですすでに観察したアクラマン湖の露頭であった。岩相や年代からするとゴスチンの発見したエジクタ層はウイリアムスの発見したクレーターからのものであることは疑いなかった。

彼らの発見は1986年、アメリカの科学雑誌サイエンスに同時に掲載された(Gostin et al., 1986; Williams, 1986)。クレーターとそこから飛び散ったエジクタが数100km離れた山中に同時に発見された。しかもそのクレーターは地上の最大のものかもしれない。彼らの発見は学会やマスコミで騒ぎたてられたのだった。ゴスチンらは、このエジクタ層付近から採集した試料の白金族元素の分析を行い、K/T境界層と同様にイリジウムなどの元素が濃集していることを報告している(Gostin et al., 1989)。

昼食後、エジクタ層の見える別の露頭に向かった。前方の赤レンガ色の堆積岩中にエジクタ堆積物を挟む青緑色の頁岩が波うったように見える。ここでは、エジクタの層は比較的厚く、場所によっては層厚5cmに達する。堆積物の産状を観察したあと、その露頭をバックに記念撮影を行った。

結 わ り に

今回のクレーター研究会は1992年にサドベリーで開催される。カナダのクレーターの前でツアーのメンバーに再会したいと思う。

山口大学三浦保範氏には、現地でいろいろお世話になると同時に、粗稿に目を通し、不備を指摘して頂いた。岐阜大学教養部金折裕司助教授には、原稿の執筆にあたり助言を頂いた。ここで使用した写真は国立極地研究所矢内桂三・陽子夫妻の御厚意による。また、地質調査所田中剛氏には地質ニュースへの執筆を進めて頂いた。これらの方々をはじめツアーでお世話になった多くの方々に感謝の意を表す。尚、この巡検にはガイドブック等がなかったため、ここで述べたことは現地での筆者の見聞による。誤解や聞き違いによる誤りがある場合には御

容赦願いたい。

参 考 文 献

- Beadell, L. (1983): End of era. *Weldon*, p.206.
- Bunting, J. A., de Laeter, J. R. and Libby, W. G.(1980): Evidence for the age and cryptoexplosive origin of the Teague Ring structure, Western Australia. Report of the Department of Mines, Western Australia for the year 1979.
- Bunting, J. A. Brakel A. T. and Commander, D. P. (1982): West Australia Geol. Survey 1: 250,000 Geological Ser. Maps and Explan. Notes, Naberru, W. A.
- Butler, H. (1974): The Lake Teague ring structure, Western Australia: an astrobleme? *Search*, 5, 534-536.
- Cook, P. J.(1960): The Gosses Bluff cryptoexplosion structure, *J. Geol.*, 76, 123-139.
- Crowe, R. W. A. (1979): West. Australia Geol. Survey 1: 250,000 Geological Ser. Map and Explan. Notes, Morris, W. A.
- Fudali, R. F. (1978): Gravity investigation of Wolf Creek Crater, Western Australia, *J. Geol.*, 87, 55-67.
- Gostin, V. A., Haines, P. W., Jenkins, R. J. F., Compston W. and Williams, I. S. (1986): Impact ejecta horizon within late Precambrian shales, Adelaide geosyncline South Australia, *Science*, 233, 198-200.
- Gostin, V. A., Keays, R. R. and Wallace, M. W. (1989): Iridium anomaly from the Acraman impact ejecta horizon: impacts can produce sedimentary iridium peaks, *Nature*, 340, 542-544.
- Harms, J. E., Milton, D. J., Ferguson, J., Gilbert, D. J., Harris, W. K. and Goleby, B. (1980): Goat Paddock cryptoexplosion crater, Western Australia, *Nature*, 286, 704-706.
- Harms, J. E., Wilson, J. G., Arndt, C. D. and Gilbert D. J. (1965): An unusual "spider" structure of probable impact origin in the Kimberley region, North West Australia. manuscript.
- Hodge, P. W. (1965): The Henbury Meteorite Crater. *Smithonian Contrib. to Astrophys.*, 8, 199-203.
- King, E. A. (1976): *Space Geology*, John Wiley & Son., p.349.
- Mark, K. (1987): *Meteorite Craters*, Univ. Arizona Press p.288.
- McCall, G. J. H. (1965): Possible meteorite craters-Wolf Creek, Australia and analogs, *New York Academy Sci.*, 123, 970-988.
- McNamara, K. (1982): Wolf Creek Crater, Western Australian Museum., p.16.
- Melosh, H. J. (1989): *Impact cratering: a geologic process*, Oxford Univ. Press., p.245.
- Milton, D. J. (1968): Structural geology of the Henbury meteorite craters Northern Territory, Australia, USGS Prof. Paper 595-C, C1-C17.
- Milton, D. J. and Mitchel, F. C. (1965): Structure of a

- ray crater at Henbury, Northern Territory, Australia. USGS Prof. Paper 525-C, C5-C11.
- Milton, D. J., Barlow, B. C., Brett, R., Brown, A. R., Glikson, A. Y., Manwaring, E. A., Moss, F. J., Sedmik, E. C. E., Van Son, J. and Young, G. A. (1972): Gosses Bluff impact structure, Australia, Science, 175, 1199-1207.
- 水谷 仁 (1980): クレーターの科学, 東大出版, p.168.
- Nininger, H. H. and Huss, G. A. M. (1960): The unique meteorite crater at Dalgarranga, Western Australia, Mineral. Mag., 32, 619-639.
- Shoemaker, E. M. and Shoemaker, C. S. (1988): Impact structures of Australia(1987), Lunar and Planetary Science, XIX, 1079-1080.
- Shoemaker, E. M. and Shoemaker, C. S. (1986): Connolly Basin. A probable eroded impact crater in Western Australia, Lunar Planet. Sci., XVII, 797-798.
- Taylor, S. R. (1966): Australites, Henbury impact glass, and subgraywacke—a comparison of the abundance of 51 elements. Geochim. Cosmochim. Acta, 30, 1121-1136.
- Taylor, S. R. (1967): Comparison of meteorite impact glass across the Henbury strewnfield. Geochim. Cosmochim. Acta, 31, 961-968.
- Williams, G. E. (1986): The Acraman impact structure: sources of ejecta in late Precambrian shales, South Australia, Science, 233, 200-203.
- Williams, G. E. (1987): The Acraman structure—Australia's largest impact scar. Search, 18, 143-145.
- Yeates, R. N., Crowe, R. W. R. and Towner, R. R. (1974): The Veevers crater: a possible meteorite feature, BMR Journal of Australian Geol. and Geophys., 1, 77-78.
-
- KAWAKAMI Shin-ichi (1991): On my visit to Australian impact craters: A report of the Australian Craters Expedition.
-

<受付: 1990年11月26日>

新刊紹介

『高知県温泉水脈推定基礎地質図(20万分の1)』
 調査・編集者: 甲藤次郎・波田重熙・岡村眞・田代正之・平朝彦・寺戸恒夫。
 発行: 高知県

23年振りに高知県地質図(20万分の1)が、新しいアイデアによって全面改訂のうえ出版された。この地質図は、表題のとおり温泉調査の基礎資料となるように工夫が凝らされている。

1) 断層やリニアメントが、大構造線、中構造線、クリップ、断層およびリニエーションに5区分され、それぞれが階層別に濃淡図示され、温泉の湯徴探査、すなわち水脈推定に役立つ。

2) 凡例には通し番号が付いているので、各地質区分の相互照合が容易で、配色もアイキャッチング。

このように個性的テーマ図ではあるが、20万分の1地質図として次のように斬新な特徴を持っている。

3) 四万十帯などの地層や変成岩の源岩の時代が、放散虫化石研究などにに基づき、“世”の細分まで示された。

4) 各地層の堆積相が、陸成層、陸棚性堆積体、斜面

海盆堆積体、主として海溝堆積物からなる付加体、海山起源の溶岩や石灰岩・遠洋性堆積物・海溝堆積物などからなる未区分付加体、メラングジュ相の6つに識別された。

5) 地帯構造図索引図において、北から南へ、三波川帯、秩父帯および四万十帯の色別3区分表示。さらに、秩父帯は、秩父亜帯、黒瀬川亜帯および三宝山亜帯、他方、四万十帯は、新莊川亜帯、大正亜帯、室戸半島亜帯および菜生亜帯と明記された。

以下に、感想を少々。

① 水脈推定に役立つ基本的データを系統的に提示しており、目的は十分達成されている。

② 従来の高知県地質図が、鉱山開発のために作成された。本基礎地質図から判断されるように、地質学に対する社会の要請が大きく変わってきたことを痛感する。

③ 付加体などの成因を含めたダイナミックな表現の本地質図が、今後の学問論争を刺激して一層具体的で内容の濃い研究に発展することを期待したい。

<地質部 服部 仁>