

富士山の高さ

箱 岩 英 一¹⁾

1. はじめに

日本で最大の成層火山である富士山の秀麗な姿は、日本人の多くを魅了し、信仰の対象となり、文学や芸術の題材となってきました。これには日本一「標高」が高いという揺るぎない要素がいっそう富士山の美しさと魅力を際立たせています。

2. 高さの基準

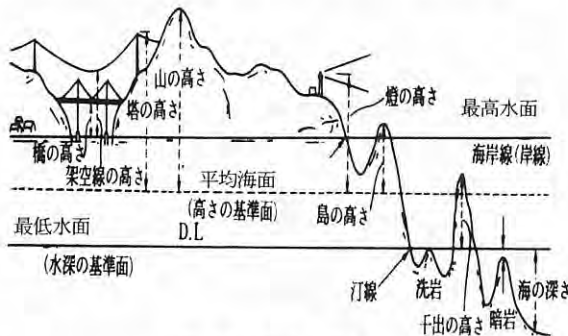
ある地点の高さを示すときに、どこからの高さであるかを定義する必要があります。おそらく賢明な読者の多くは「それは海面からの高さ」であると解答するに違いありません。この答えは正しいのですが、厳密にはもう少し細部について理解しておく、いいかも知れません(第1図)。

(1) 陸地の高さは、東京湾平均海面からの高さで表し、これを特に「標高」と呼んでいます。東京湾平均海面は東京湾の潮位を長い期間観測し、その潮位を平均した海面をいい、これを単に平均海面と言っています(第2図)。これは、陸地の測量が測量法(国土地理院所管)に基づいて行われている

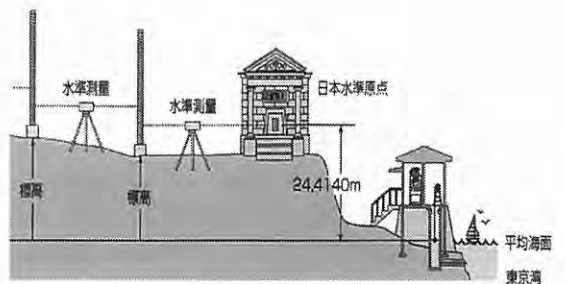
るからで、このような決め事が測量法に明記されています。ですから山の高さもローカルな海面からの高さ(海拔)ではなく全国統一された平均海面からの高さであるということになります。

このように統一された基準のもとで作成された国土地理院の地形図に三角点があればその標高値が示されています。三角点の標高は、埋設された三角点標石の上面の高さを示していますが、その多くが山頂に置かれているため、山の最高点の高さと1mも違わない場合が多いので、一般には三角点の標高をメートル単位で山の高さと考えてよいのです。

(2) 港湾施設や水路測量で扱う高さは、海面の最低水面を基準として表しています。最低水面は、これ以上海面が下がることがないと想定される面でローカルな海面毎に設定されています。また、橋や送電線の高さは最高水面から表します。これは、干潮・満潮等により、船の安全航行が損なわれることが無いよう配慮され設定されているものです。しかし、その多くは、測量法に基づいた主な国道沿い2km毎に設置してある国家水準点に取り付けが行われ、陸地の標高との関係がつけられるようになっています。



第1図 高さの基準面。



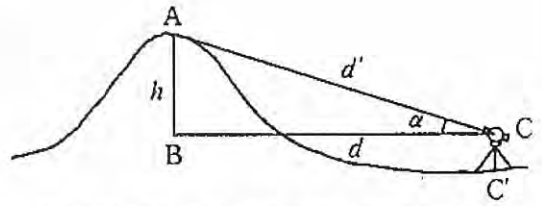
第2図 平均海面と高さの原点(日本水準原点)との関係図。

1) 国土地理院企画部：
〒305-0811 つくば市北郷1番

キーワード：高さの基準、平均海面、測量法、剣ヶ峰、白山岳、水準測量、高低差、GPS測量、電子基準点、ジオイド高

(3) 河川の水面や堤防あるいはこれに付随する施設の高さは、河口に設けられた水位標(量水標)の「零目盛」を通る面が基準となっています。

これは、河川の河口から上流まで、統一して高さの管理ができるシステムとして、明治の初期にオランダから招聘したお雇い外国人技術者から導入されたシステムです。堤防沿いの両岸には200mごとに座標と高さを持っている「距離標」が設置され、定期的にこの高さが測量により点検されています。この数値も国家水準点との関係がつけられています。



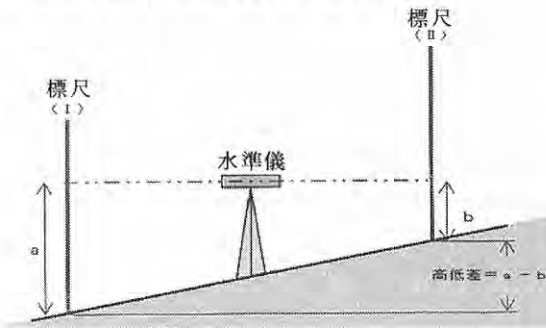
第4図 距離と高低角を用いて高低差を得る方法。

高いところへ上ると徐々に気圧が下がっていきます。この気圧の減少する量を気圧計で測定して高さを求めることができます。気圧は高さがおおよそ8m違うと気圧が1ヘクトパスカル(ミリバール)違ってきます。逆に気圧を0.1ヘクトパスカルの精度で測定すれば高さを約1mの精度で決定できるはずですが、しかし、気圧は場所によっても、時刻によっても変化するため計算どおりに行くとは限りません。明治時代に三角点を全国に選定する際、三角点の予定個所までの気圧測定した記録が残されていますが、標高2,000m以上の山で実際に測量で決めた標高と気圧測高とを比較して見ると、平均的に200m程異なっています。

3. 高さを測る方法

(1) 水準測量による方法

この方法は、最も高精度に高さを求めるために行われる測量(第3図)の方法で、2地点に立てた標尺の中央に水準儀の望遠鏡を水平に置き、2つの標尺の読みの差から高低差を求める方法です。この方法を繰り返し行って遠く離れた地点の高低差を高精度に求めることができます。国家水準点はこの方法によって標高が決められ、ミリメートルの精度で標高が求められています。



第3図 水準測量の原理。

(4) GPS測量による方法

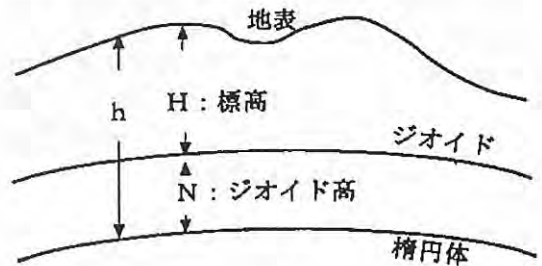
宇宙技術であるGPS(Global Positioning System: 全地球測位システム)測量によって標高を求める方法です。GPS衛星は、米国によって開発・運用されている衛星で、この衛星から発する電波を受信してその受信点の地球重心を原点とした三次元位置を決定することができます。

この方法によって求められる高さは、第5図に示す楕円体からの高さhであり標高Hではありません。このため、ジオイド高Nを求めてhの値からNを差し引いて求めます。なお、日本国内のジオイド高Nの値は、国土地理院のホームページから緯度・経度を入力することにより、得ることができます。

(2) 距離と高低角による方法

山の高さを高精度に得るためには水準測量の方法で行うのが最も望ましい方法ですが、多大な労力や経費を必要となるため、一般的には第4図に示す距離d'と高低角αを観測してd'・sin αによって高低差hを求めます。ここでC'の標高が分かればA点の標高を求めることができます。この方法で得られる標高は10cm程度の精度で得られます。

(3) 気圧による方法



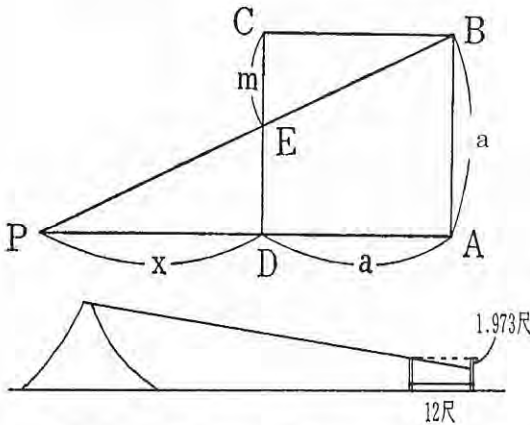
第5図 ジオイド高。

なお、この方法による標高は、相対的な測量の場合、10cm程度の精度で求められます。

(5) 江戸時代の測量

江戸時代の高さを得るための測量方法にはいくつかあるようですが、富士山の高さを日本で最初(享保12(1727)年)に測量したという記録に、その手法が記されています。

これを要約すると、ある地点から目標である山頂までの距離をまず求めます。次に、山頂までの傾きを測って、すでに測られた距離を用いて山頂までの高さを計算したものです。



第6図 距離(上図)と勾配(下図)を得る原理。

その原理は、第6図のとおり地面に一边aの正方形の縄を張ります。これは、A点から目標となる富士山Pの方向にADの辺を合わせるように配置します。次にB点でPの方向を狙いmの長さを読み取ります。これは、△EPDの△EBCであることを利用して目標Pまでの距離xを求めるものです。 $x : a = (a - m) : m \therefore x = a(a - m) / m$ となり距離が得られます。この事例では、aが24間、mが1寸8分5厘と記録されています。

次に、山頂までの傾き(勾配)を観測しています。2本の柱を12尺離れたところにそれぞれ立てて測量すると柱の高さに1尺9寸7分3厘の差ができたと記されています。この勾配は12分の1.973であるから先ほどの距離に掛ければ高さになります。こうして得られた日本初の富士山の高さは、3,886mとなります。なお、元国土地理院長武藤勝彦はこの結果を3,895.1mとしています。1尺の長さが違うのか、観測点である吉原宿の高さを加えたのかも知れません。

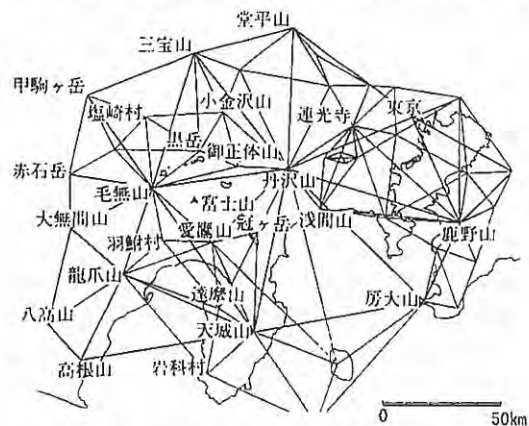
4. 富士山の高さ

筆者も富士山と周辺の三角点との距離観測作業を行うため、10日間ほど山頂に滞在したことがあります。夏の天候が安定する短期間を狙ってのレーザーによる距離観測でしたが、下界が日照により暖まると山頂との間に雲が発生するため、視界が安定する夜の観測が多くなりました。夜間、突然、雷鳴とともにガスに覆われ、まわりが何も見えなくなる恐怖や、上からも下からも鳴り響く雷鳴の恐ろしさに酸素が希薄なもの忘れ山小屋目掛け突っ走ったあの苦しかった測量作業を思い出します。

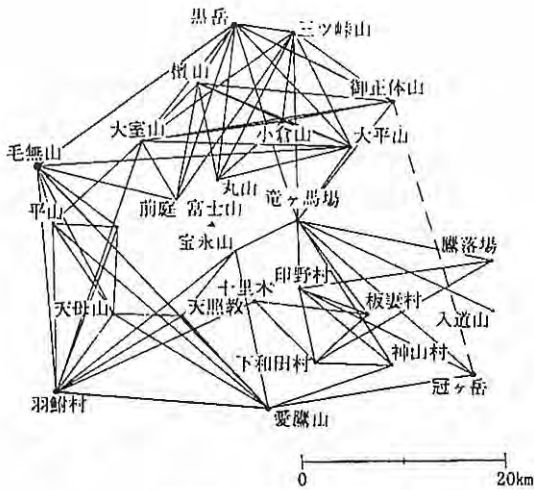
富士山の高さを決定する目的で、本格的に山頂で腰を据え、測量に取り掛かった例は近年に数例あるのみで、その殆どは下界から一方的に山頂を目掛けて測量したもののようです。

(1) 富士山の三角点

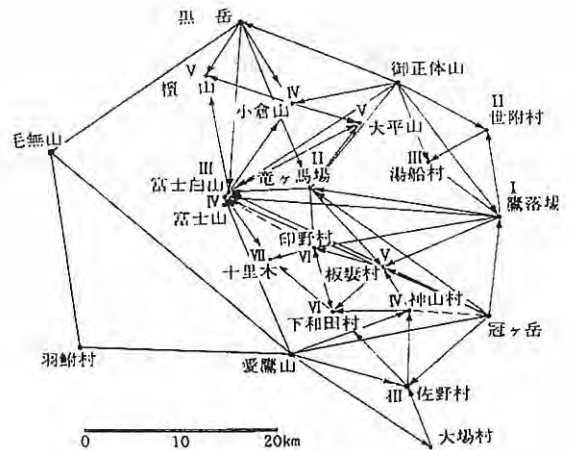
現在、富士山頂には南西端の剣ヶ峰に二等三角点「富士山」、北端の白山岳に二等三角点「富士白山」が設置されています。日本一の高さである富士山の三角点が、なぜ一等三角点ではないのかという疑問をもたれる読者もおられると思います。この点について少し触れたいと思います。まず、日本列島の骨格網を測量するに当たって、最初に45kmに1点ずつ一等三角点が設置(約330点)され一等三角測量が開始されました。45kmも離れた周囲の三角点同士の間隔を測る測量ですから測量機器・測量日数・測量回数も大規模に行われました。山頂に風呂桶を上げたり畑を作り野菜を栽培したりと、長期間に渡って測量が行われたと聞いています。



第7図 富士山を囲む一等三角補点網。



第8図 二等三角点網.



第10図 新二等三角点網.

工夫をしています。これは、測量の際に、できるだけ水平角の観測値に高低差があるために生じる誤差が入り込まないようにしたためで、周囲の山々の標高と比べ極端に高い富士山は、一等三角点を設置するにはふさわしくないと判断されたのがその理由でした。このため第7、8図のとおり「富士山」は当初の一等三角補点網及び二等三角点網にも組み込まれておりません。

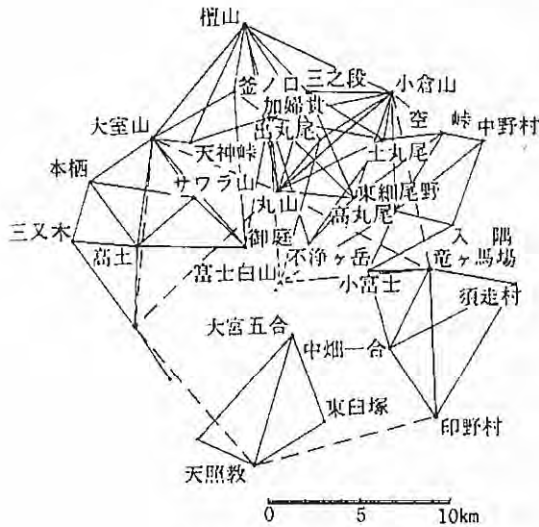
更に、明治18(1885)年の三等三角点網(第9図)を調べると三等三角点から前方交会法(富士山頂では測量しない方法)により富士山頂北側の富士白山の位置を測量したことが記載してあります。ここには、太さ二寸角、長さ二尺の木杭を打ち込んで四等三角点として水平位置と標高を求めました。また、この三角点の標高を用いて、平板測量で最高点剣ヶ峰の標高を求め、3,778mと決定しています。

その後、明治23(1890)年に同位置に三等三角点が埋設されています。

更に、現在利用されている標高3,776mの測量は、大正15年関東大地震に伴い、三角点の従来の測量成果(緯度・経度・標高)が広域に変わってしまったため測量をやり直すことになったものです。ここで、現在、山頂にある二等三角点が山頂に2点埋設されたのです。新しい測量網は、第10図(ローマ数字は、高さを計算した順序)のとおりです。

(2) 富士山の高さ

日本の最高峰にあって、実用的に測量で使用されている「富士山」の標高は、3,775.63mです。な



第9図 三等三角点網.

この測量の結果、一等三角点の水平位置は、10cm程度の精度で決められました。

その後、順次、一等三角点補点は25kmごと、二等三角点は8kmごと、三等三角点は4kmごと、四等三角点は1.5kmごとに設置され測量が行われました。測量機器・測量日数・測量回数も順次、小規模となり、どの測量においても水平位置が10cm程度の精度になるよう測量が行われました。つまり、どの等級の三角点においても同じ精度(10cm程度)で水平位置が決められたことになります。

一等三角点の位置を決めるに当たっては、周囲の一等三角点同士ができるだけ高低差がないよう

第1表 明治初期までに測量された富士山の高さ。

測定年	測定者	測定法 または器械	結果 (m)	備 考
1727	福田 某	三角法	3,895.1	メンデンホール・田中館愛橋らの富士山頂重力測定と同時に実施。 温度の補正が異なる。
1803	伊能忠敬	全上	3,927.7	
1826	シーボルト	セキスタント	3,793	
1834	内田 恭	象限儀	3,475.7	
1860	オルコック ファガン ウィリアム ルビエ クニッピン	占気筒	4,322	
			3,987	
			3,266	
			3,518	
			3,729	
1874	スチュワート フェントン フーバー	気圧計	3,829	
			3,769	
			3,772	
			3,768	
			3,823	
1880	中村精男 和田雄次	オムニメートル	3,812	
			3,787.2	
			3,745.5	
			3,766.4	
			3,882.3	
1887	野尻武助 チャップリン ライ シュット ミルン	上記の再計算 三角測量	3,778	
			3,778	
			3,778	
			3,778	
			3,778	
1887	参謀本部	三角測量および 平板測量	3,778	
			3,778	

お、明治初年まで記録に残っている標高数値は、第1表に示すとおり数多くあります。

その主な内容を紹介します

- 山崎美成の「世事百談」(天保14年刊)に「福田某という人測量せしに、駿河の吉原宿より富士山の頂まで216町2分16。里数にすれば6里006006となれり、山の高さは35町6分2163と、・・・」この測量手法と結果については前項に述べたとおりです。
- 伊能忠敬も富士山の高さを測量しています。方位盤・象限儀という水平角・高度角を測る機器で測ったものでしょう。3,927.7mの結果を得ています。
- 伊能図を日本から持ち出して世界に日本を紹介した人として有名なシーボルトも富士山の高さを測っています。六分儀(セキスタント)を持ってきたという記録があり、近代的測量機器で測量したのはシーボルトということになります。
- 幕末の和算家で明治初年、度量衡制度の顧問役であった内田 恭が、天保5年象限儀と占気筒(液注式気圧計)で測定した記録があります。
- オルコックは初代英国公使で万延元年(1860)外国人として富士山初登頂という記録があります。100人あまりの大パーティを組んで登頂したので、同行者が気圧計を持参したのかも知れません。ただし、標高が500m以上も高い結果となっています。

- クニッピンは、当時東京大学の前身であった開成学校の教師で、生徒を指揮して山頂と沼津とで気圧計の同時観測をして得た結果です。
- スチュワートの測定に使用されたオムニメートルという高低測量器の詳細は不明ですが、沼津から山頂まで97回の測定の結果だといえます。
- 明治13年(1880)東京大学の教師であった米人メンデンホール(帰国後米国の測量機関である沿岸測地測量局長官になった)と同僚のチャップリンが、学生らとともに山頂と山麓の原(現沼津市内)で、気圧計・温度計の観測をしました。
- チャップリンは当時、国内の三角測量を進めていた内務省地理局測量課の理学博士二見鏡三郎による鹿野山・丹沢山・天城山・富士山を結ぶ三角測量の結果から、すでに決定されていた鹿野山一等三角点の標高を基に富士山の高さを計算したようです。一等三角点間の平均距離は、約45kmの遠距離であり、標高を求めるには誤差が大きいのはやむを得ませんが現在の標高と10mしか違っておりません。

富士山の高さは、明治の初めまでに気圧計で100mの桁が決まり、最初の三角測量で10mの桁が大体決まりました。その下の数字の決定は、国の機関である参謀本部陸地測量部の正式測量の結果を待たねばなりませんでした。

- 明治初年、政府の各省が開始した測量事業は同17年(1884)陸軍に統合され、内務省地理局が実施してきた三角測量も参謀本部陸地測量部に引き継がれました。国内の測量の第一歩は、地図作成の骨格となる三角測量から開始されました。標高は、比較的距離の短い(4km程度)三等三角測量を実施する際に、各地の水準点から出発して決定されました。明治18年(1885)富士山頂北側の「白山岳」に木杭を打ち込んで四等三角点として周りの三等三角点から標高を求めました。更に、この標高を用いて火口壁沿いに導線法による平板測量(明治20年)を行い、最高点「剣ヶ峰」の標高を3,778mと決定しました。これは、現在より2m高い値となっています。
- 現在でも使われ、誰もが知っている3,776mの富士山の標高は、大正15年の測量を基礎にしています。関東大地震により大地は変動し、こ



第11図 「富士山」標石(昭和37年改埋以前).



第12図 「富士山」標石低下改埋工事(昭和37年).

れまでの測量データは復興計画等の測量に使用できなくなってしまいました。測量をやり直さなければならなかったのです。こういう測量のやり直しを「復旧測量」と呼んでいます。この復旧測量の際に山頂に二等三角点が2点新設されました。最高峰の剣ヶ峯に「富士山」、白山岳に「富士白山」と銘々されました。この測量で得られた二等三角点「富士山」の標高は3,776.29mとされました。当時の「点の記(三角点の記録)」には、「頂上の最高は標石の北方約十米の岩にして標石より高きこと一五種なり」とあります。したがって計算上最高点の標高は3,776.44mとなります。

12) 富士山頂剣ヶ峯の二等三角点「富士山」も設置後30年あまりを経て、第11図のとおり周囲の岩石が崩れ、標石の大部分が露出する状態になってしまいました。そこで昭和37年9月に改埋(第12図)しました。改埋は、再び崩れるおそれがない高さまで低くして標石を埋め直すの



第13図 現在の二等三角点「富士山」(右の白色).

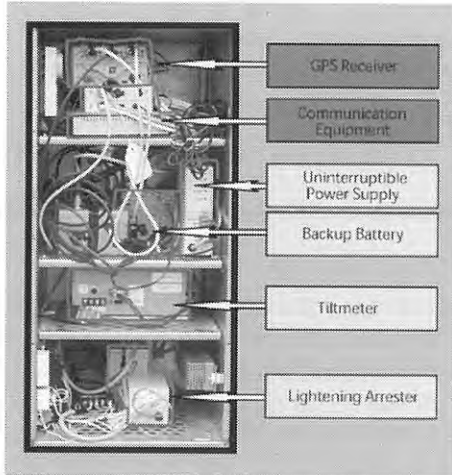
が普通で、「低下改埋」といいます。これは、標石の水平位置を変えずに高さだけ低くする方法をとります。しかし、日本一の富士山の標高3,776mの変更について、当時の報告書は「内外国に与える影響が大きいため、m単位にて現成果を維持出来る様に66.2cmの低下をし、 $3775.628 \approx 3776$ mとした」とあり、低くした標石の周囲に石を積み、貴重な水でコンクリートを練って固め、3,775.63mという値に収めたことが伺い知れます。

現在の地形図に示されている富士山頂剣ヶ峯の三角点(第13図)の標高は、こうして決まったものです。

13) 電子基準点の設置。平成14年9月12日(木)に、富士山へ初めて電子基準点を設置しました(第14図)。電子基準点は、GPSを利用して位置を正確に連続して測定するための基準点です。



第14図 電子基準点富士山.



第15図 電子基準点の内部構造。



第16図 富士山電子基準点設置工事。

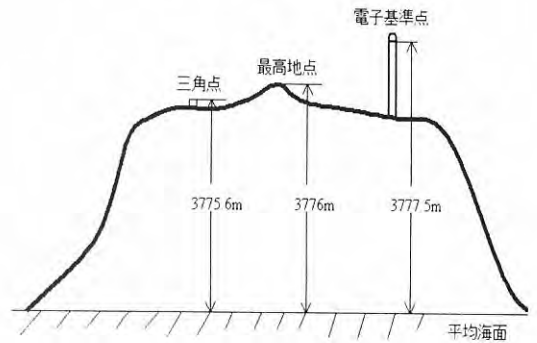


第17図 富士山電子基準点設置工事(電子基準点と三角点、手前は説明板)。

地震や火山活動に伴う地殻変動の観測監視のために重要な基盤的観測施設であるとともに、三角点や水準点と同様に測量の基準として使用されます。現在、全国に約1,200点あります。なお、電子基準点の内部構造は、第15図のとおりです。



第18図 富士山電子基準点設置工事(アンテナ部の取り付け)。



第19図 富士山電子基準点等の高さの関係図。

電子基準点設置工事における写真を第16,17,18図に示します。

「電子基準点富士山」は、これまで最も標高の高いところにある三角点「富士山」から少しはなれたところに設置されました。電子基準点のピラー(柱の部分)は、約3mありますので、電子基準点の標高は、3,777.5mになります(第19図)。従って、今回設置した「電子基準点富士山」は二等三角点「富士山」を抜いて日本一高い基準点となりました。これまで、電子基準点として最も標高の高いところにあったのは、立山山頂西斜面の室堂に設置された「電子基準点立山」(標高2,432.6m)でした。なお、これによって一般に知られている富士山の標高3,776mを変更することはありません。

5. おわりに

標高データは、地形図に山の高さを記すほか土木工事や防災対策等その利用は、多岐にわたり近年においては海面変動の研究等にも利用されてい

ます、より高精度化が求められる時代であって富士山の高さもより高精度な高さに生まれ変わる時代が来るかも知れません。

参 考 文 献

- 鈴木弘道(2002):山の高さ,古今書院,404p.
松崎利雄(1979):江戸時代の測量術,総合科学出版,326p.

HAKOIWA Eiichi (2003): Height of Mt.Fuji.

<受付:2003年8月21日>

書 評

新編火山灰アトラス

町田 洋・新井房夫著
東京大学出版会
本体価格7,400円

どんな本が出てくるのか、評者は実は戦々恐々としていた。

火山灰アトラスの最初の出版は、1992年である。わずかに10年余での改編出版である。

このようにならかなり短期間のうちに新編が出版された理由は、この期間に、中・前期更新世の火山灰の研究が大幅に進展したこと、放射性炭素の年代測定技術の進歩及び歴年較正法の普及などがあり、新たな年代値をまとめて記載しておく必要が出たためとされている。

今さら言うまでもなく、御二人の著者は、極めて広い範囲に分布している火山灰があることを1970年代に初めて実証した方々である。その後も、両氏も含めた多くの研究者の手によって続々と火山灰の分布や年代が明らかになり、旧版出版の運びとなった。新版の構成は、基礎編と、日本のテフラ各論の大きく2つに分けられており、基礎編は、テフラを生む噴火の説明、テフラの同定法や年代測定法などの解説からなる。各論では、後期第四紀の広域テフラ、日本各地の後期第四紀テフラ、中・前期更新世の広域テフラ、日本列島周辺の海底テフラなどのデータが整理されて記載されている。付録として、海外の大規模テフラ、日本の第四紀広域テフラの火山ガラスの化学組成、及び日本の代表的広域テフラの顕微鏡写真がつけられている。新版、旧版を通じて、この構成には大きな変化はない。データはどんどん蓄積されてきているので、総ページ数は、276から336に増えている。新版に際立って増えた記載は、中・前期更新世の広域テフラ(旧版では第四紀中期の広域テフラ)の部分である。また、巻頭のカラー写真は、新旧版の枚数はほとんど同じであるが、ほぼ全面的に差し替えられている。新版の巻末の著者紹介のページに、露頭を前にした著者の最近の写真が載っている。暖かい本になった。

火山灰の研究者の属する分野は、分類の範疇が変であるが、火山、第四紀、農学、考古学などであろう。では、研究成果はどのように利用されるのであろうか。

火山の分野では、個々の火山の発達史、活動様式の変化、噴火メカニズム、相対的噴火年代の推定などに、第四紀では対比と地形発達史などに、農学では、作物の適否の判断や土壌改良などに、考古学では年代の推定などに使用するものと思われる。これらのうち、すぐに世の中の役に立つのは、何と言っても農学分野であろう。

その次に役に立つ可能性を強いてあげれば、災害問題であろうか。ただし火山灰の災害は、頻度がそれほど大きくない。桜島では、住民に深刻な影響を及ぼすことがあるが、徐灰が主たる仕事であって、それにはテフクロロジーが貢献できる可能性は大きくない。火山灰粒子の特徴とそれによる健康への影響問題については、外国では多くの研究が進行中であるが、わが国ではそれほどではないようである。わが国の一般の住民にとっては、火山灰災害はとにかく低頻度で取るに足らない災害なのである。

しかしながら、いったん事が起きると、甚大な被害をもたらすことになる。したがって、そのデータをよく整理しておく必要がある。火山灰の研究者以外の人にもその実態をよく伝えるためには、火山灰のデータの電子情報化が必要と評者は考えた。したがって新版で、それがどのように表現されているか気になって仕方がなかった。新版でも、資料の電子情報化は、なされていなかった。評者はこれが重要と考えたので、旧版を利用して、独自に試みていた。結果は十分満足のいくものではなかったけれども、見通しは付いた。すなわち、役に立ちそうであるということである。

火山災害軽減の立場からは、自分のいる場所のことが重要な問題なのであって、降ってくる灰がどこの火山に由来するものであるかは、当面不問で良いことになる。そのような立場に立った火山灰の研究は例がない。ただし、そのことが、この資料集の価値を軽減するものでは全くない。このような資料集がまず初めになれば、やる気も起きなかったであろうし、アイデアも湧かなかつたであろうからである。

著者やその協力者は、このようなデータ集を取りまとめることは、苦勞が多い割には、と御考えかもしれないが、間違いなくきちんと役に立っている。これからも様々な形で利用する読者が増えることを期待する。

(地球科学情報研究部門 須藤 茂)