

地震予知研究計画の進展とその歴史的背景 ～地震予知をめざして②～

飯 塚 進

初めに 日本の地震予知研究計画がどのような経過をたどってねり上げられ 実行に移されていったかについて まず述べる。次に現在進行中の第2次5か年計画の概要を紹介し最後にわれわれが行なっている実験の基礎になっている先人の研究成果について2・3紹介する。

前の1961年4月のことであった。その後同グループは数回にわたり会合を重ね その結果は翌62年1月に「地震予知研究計画書」(ブループリントと呼ばれている)として結実する。計画をねり上げる過程では学会有志80名以上が討議に参加したといわれている。

4. 地震予知研究の経過

年表を参照しながら ナショナルプロジェクトとして現在行なわれている「地震予知研究計画」がどのように進展してきたかをふりかえてみたい。まず全体の動きからみていくことにしよう。

4-1 ブループリントの作成とそれが実行に移されるまで

東大地震研究所の萩原尊礼教授(現在建設省国土地理院)らが中心になって地震予知計画研究グループが結成され その第一回目の会合が開かれたのは今から約10年

このようにして研究者が自主的にねり上げた研究計画も予算がみとめられなければ「絵に描いた餅」になってしまうわけであるが その後の数年間はこの研究計画をどのようにして実行に移すか 予算獲得をめぐる苦闘の歴史であったということができよう。1963年6月には文部省測地学審議会の中に地震予知部会が設置された。また同年10月 日本学術会議は地震予知研究推進に関して政府に勧告を行なった。これらは具体的な動きの一例である。

他方 ブループリントは英語版も刊行されて広く諸外国の地震学者の注目を集めるようになった。特にアメ

年表 地震予知研究計画の推移

年 月	所 内 の 動 き	所 外 の 動 き	備 考
1961・4		地震予知計画研究グループ第1回会合(代表者:坪井忠二 和達清夫 萩原尊礼)	
1961		同グループは数回にわたり会合 学会有志80名以上が討議に参加した	
1962・1		同グループによる地震予知研究計画書(いわゆるブループリント)の刊行	
1963・6		文部省測地学審議会に地震予知部会を設置	
1963・10		日本学術会議 地震予知研究推進に関して政府に勧告	
1964・3		地震予知問題に関する日米合同会議の開催	
1964・6	新潟地震調査に参加*	文部省測地学審議会による地震予知研究計画に関する関係各省大臣への建議または要望	新潟地震(M=7.5)発生
1965・3		日本学術会議地球物理学研究連絡委員会内に地震予知小委員会を設置(地震予知研究計画推進の責任母体)	
1965・4		第一次5か年計画スタート	
1965・6	地震予知研究計画のテーマ中「地震波速度」および「活断層・活しゅう曲」を中心に概算要求を行なう。	地震予知小委員会による地震予知研究年次計画の作成	
1965・8			
1966・4	地震予知研究「地殻活構造グループ」として発足		松代群発地震始まる
1966・5	松代群発地震の調査**に参加	地震予知小委員会 松代地震の経験にもとづいて計画を再検討 地震予知研究年次計画の修正を行なう	
1967・11	松代群発地震域の地震探査 地震研究所などの協力を得て行なわれる。***		
1968・2			えびの群発地震発生
1968・4			日向灘地震(M=7.7)発生
1968・5			十勝沖地震(M=7.8)起こる
1968・7	えびの地震および十勝沖地震の調査に参加****	開議了解「地震予知計画の推進について」(十勝沖地震震直後)	
1969・4	「地震予知グループ」と改名	測地学審議会による建議「地震予知の推進に関する計画の実施について」	
1969・9		地震予知連絡会発足	
1970・4		房総・三浦など関東南部の隆起 問題となる	
1970・9		第2次5か年計画スタート	

* 印は 次の文献にくわしい内容が報告されている

(注) * 地質ニュース No. 120 (1964)

地質調査所特別報告 No. 3 (1966) No. 4 (1966)

** 国立防災科学技術センター:防災科学技術総合研究速報 No. 5 (1967)

*** 地質調査所特別報告 No. 5 (1969) (英文)

**** 地質ニュース No. 165 168 169 (いずれも1968)

リカの地震学者はこの問題に強い関心を示し 1964年3月に地震予知問題に関する日米合同会議が開催された。

この年の6月に 測地学審議会は地震予知研究計画に関して関係各省の大臣に建議または要望書を提出した。これは40年度予算の概算要求時期を迎えて さしあたり予算的にスタートできるところから計画を実行に移すことをねらったものであった。

1964年6月16日に発生した新潟地震は 都市における地震災害が想像以上に恐ろしいものであることを国民の前にまざまざとみせつけた。地震予知と共に震災防止の研究の重要性が認識されたのはいうまでもないことであり 65年度からまがりなりにも予知研究がスタートできたうらには 新潟地震の不幸な経験があったのである。

計画を実行に移す段階で これを推進する責任母体はどこかという問題が起こった。測地学審議会はあくまで審議機関に過ぎず またブループリントを作成したグループは研究者が自主的に集まった任意団体に過ぎない。そこで1965年3月 日本学術会議の地球物理学研究連絡委員会内に地震予知小委員会が設けられ 地震予知研究計画推進の責任母体としての役割を果たすことになったのである。そして予知研究の年次計画立案はこの小委員会にゆだねられた。

4-2 動きだした地震予知研究計画

(第一次5か年計画のスタート)

小委員会の立てた1965年を初年度とする第一次5か年計画は次の項目から成っていた。

- ① 測地実験
- ② 地殻変動連続観測
- ③ 地震活動
- ④ 地震波速度
- ⑤ 活断層 活しゅう曲
- ⑥ 地熱 岩石破壊
- ⑦ 地磁気 地電流
- ⑧ 地震予知観測センターの新設
- ⑨ 機動観測班の新設
- ⑩ 講座 部門の新設

小委員会の年次計画が最終的にでき上ったのは65年6月であり すでに初年度はできるところからスタートしていたので 年次計画に沿った予算要求は1966年度から行なわれた。ところが そこでスタートしたばかりの地震予知研究計画がまさに試められるような事件が起こったのである。それは1965年8月3日から突如始まったあの有名な松代群発地震であった。上記計画の①②③⑤⑦などの調査研究が 長野県松代町を中心とする北

信地域一帯において精力的に実施された。この群発地震は 66 67年と続くわけであるが 長期にわたって連続的に行なわれた調査研究においては 日本の地震学の真価が問われたばかりでなくまた地震予知研究に貴重なチャンスとデータを提供したといえることができよう。

地震予知小委員会は 松代地震の経験をいち早く取り入れて研究計画を再検討し 66年5月 年次計画に若干の修正を加えた。おもな修正点は⑨⑩の項目についてであった。このようにしてブループリントに盛られた研究はスタートを切るのであるが これまでに述べてきたことからわかるように 新潟地震や松代地震が一つのきっかけになっていることに注意しておかなければならない。このことはさらにその後の経過をみれば明らかである。1968年2月から4月にかけて起こった えびの群発地震 日向灘地震 さらに5月16日の十勝沖地震などはいやおうなしに国民の目を地震予知 震災防止に向けさせたしそれが政府に対する無言の圧力となつてはね返っていったことは想像に難くない。たとえば十勝沖地震では青森県および北海道南部に大きな災害をもたらしたが その直後政府は「今後さらに計画的に地震予知を強力に推進し その実用化を図る必要があるのですみやかにこの目的を達成するため関係諸機関の研究施設等の整備ならびに地球物理学的観測および調査業務の強化拡充につとめる」という閣議了解を出している。

これを受けて測地学審議会は同年7月に 「地震予知の推進に関する計画の実施について」 関係各省庁の大臣に建議を行なった。この中で注目すべき点は 新たに「計画の総合的推進体制を確立する必要がある」と説いていることである。この結果1969年度から各分担機関の情報交換を常時行ない それらの情報の総合的判断を行なうために国土地理院の中に「地震予知連絡会」が設けられた。昨年私たちにショックを与えた房総・三浦両半島など関東南部の隆起現象は この地震予知連絡会で発表されたものである。このような経過をたどって 地震予知研究計画は1970年から第2次5か年計画にはいった。

4-3 地質調査所の動き

次に地質調査所内の動きを簡単にふり返ってみることにしよう。地質調査所はこれまで大地震が起こるたびにその調査と研究に多大な貢献をしてきた。年表でもふれているが 最近のおもな地震の調査にはすべて参加していることがわかる。

さて 地震予知研究計画に地質調査所として参加したのは第一次5か年計画がスタートした翌年の1966年からである。前述の7項目の研究テーマのうち 地質調査

所としては「④地震波速度」「⑤活断層 活しゅう曲」の2項目に関係している。あとでくわしく述べるが④については元地質調査所物理探査部長 早川正巳氏(現東海大学海洋学部教授)がテーマの発想者であったことをつけ加えておきたい。また⑤については 構造地質学研究者の地道な蓄積があったからこそこのテーマに取り組むことができ 関連分野を含めて現在大きな成果をあげつつあるのである。なお⑤については 本誌第148号(1966・12)を参照されたい。

5. 第2次5か年計画の概要

地震予知研究は 今年から第2次5か年計画に入ったことはすでに述べたが 地震予知小委員会の立てた計画書によるとその内容は概略次の通りである。

(A) 観測

I 日本全域にわたる基本的観測

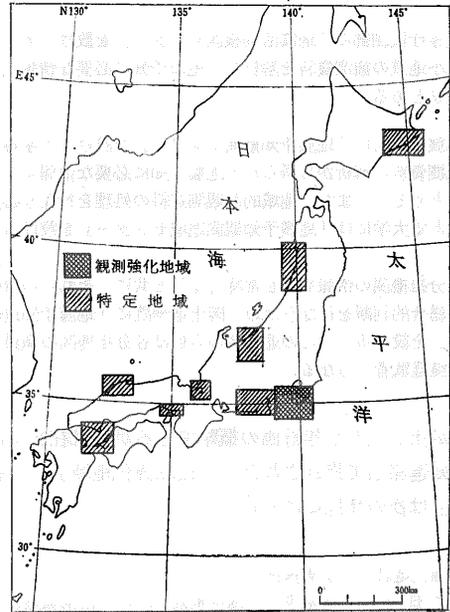
- ①測量 三角測量(繰返し周期10年)
 - 水準測量(" 5年)
 - 重力測量(" 5年)
 - 磁気測量(" 5年)
- (国)
- ②検潮 (国 水 気)
 - ③大・中・小地震観測 (気 緯)

II 特定地域の観測

- ①測量 三角測量(2.5年)
 - 水準測量(")
 - 菱形基線測量(")
 - 磁気測量(")
 - 重力測量(5年)
 - 離島および海底の測量(水)
- (国)
- ②地殻変動連続観測 (大 緯)
 - ③微小地震観測 (大 気)
 - ④移動観測(極微小地震 測量 傾斜 伸縮 地磁気 重力 地質等) (大)
 - ⑤地殻活構造調査 (地質 大 防)
 - ⑥地震波速度の調査 (地質)
 - ⑦地磁気・地電流の観測 (気 水 国 大)
 - ⑧東京観測 (防 気 大 等)

注: 分担機関名	略号
国土地理院(建設省)	(国)
気象庁(運輸省)	(気)
水路部(運輸省海上保安庁)	(水)
地質調査所(通商産業省)	(地質)
国立防災科学技術センター(科学技術庁)	(防)
大学(文部省)	(大)
緯度観測所(文部省)	(緯)

ここに特定地域とは 歴史時代に大地震が起こった記録のある地域 活構造地域 地震多発地域 東京などの重要地域などである。



第1図 観測強化および特定地域一覽図

特定地域とは、歴史時代に大地震が起こった記録のある地域 活構造地域 地震多発地域 東京などの重要地域などをさす。観測強化地域とは たとえば関東南部のように土地の隆起現象など異常が発見された場合 それを確認するために観測を強化する地域のこである

III 異常地域の観測強化(各機関)

上記IあるいはIIの観測により ある地域に もし何らかの異常を発見した場合は 移動観測班などでその地域の観測を強化し 異常を確かめる。

IV 観測強化地域への観測集中

上記IIIによって異常が確認され それが大地震発生と関連あるものと判断された場合は その地域で上記IIの①〜⑧の観測を高密度で行ない地震予知の実用化につとめる。

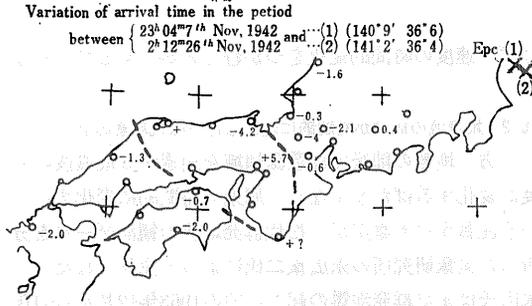
(B) 実験

- (1)大型試料による岩石破壊実験
実験室内の小試料による実験と平行して 野外において大型の岩石試料を切り出し 破壊実験を行なう。
- (2)地殻応力測定
地殻の応力絶対値を直接測定して 破壊との関連を調べる方法を開発する。

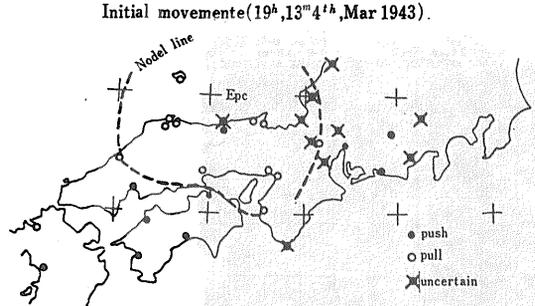
(C) 総合的計画推進体制

前記の諸計画が円滑に進み すみやかに成果を得るためには 各分担機関の緊密な協力および各種観測データの能率的な処理と総合的な判断が不可欠である。このため 次のような総合的計画推進体制を取ることとする。

- ①国土地理院に「地殻活動検知センター」を設け地殻活動に関する観測資料を解析し 地震予知に必要な情報をとりまとめる。



第3図(a) 昭和17年11月7日と11月26日に茨城県沖に起こった地震の走時の比較(早川・1951による)



第3図(b) 昭和18年3月4日の鳥取地震の初動押し引き分布図(早川・1951による)

この場合も速度の速くなった領域が初動引きが始まっている

1月24日と2月17日に福島県沖のほぼ同じ場所で起こった地震の走時を比較したものである。Epc. (1)(2)がこの2つの地震の震央で丸印は観測点 数字は走時の変化量(単位は秒)を表わしている。たとえば+1.7というのは2回目の地震波の方が1.7秒だけ速く到着したことを逆にマイナスの数字はおそくなったことを表わしている。(b)図の方は男鹿地震の初動の押し引き分布を示す図であるが白丸はその観測点の初動が震源の方向へ引張られる向きに動いたことしたがって白丸の領域は圧縮力が働いたことを表わしており黒丸の観測点は逆に引張りの力が働いたことを示している。この2枚の図をくらべてみると速度が増した領域と初動が引きすなわち圧縮を受けた領域とがよく一致している。

第3図は昭和18年(1943)3月4日の鳥取地震**の場合の例である。走時を比較した地震は昭和17年11月7日と11月26日に茨城県沖に起こった地震であるがこの図でも速度が増した領域と初動が引きの領域とはかなりよく一致する。「これは地震の起こる前に地下の弾性の状態に変化が起こり従ってそこを通過する地震波の速度に時間的変化を起こしたものと考えられる」と早川氏は述べている。

* 理科年表によればこの地震のマグニチュードは6.6で家屋全潰604 死者29 軽微な津波ありと記されている。

** 3月4日に起こったこの地震はマグニチュード6.4 翌5日ほぼ同じ場所にマグニチュードも同じ6.4の地震が連続して起こった。両地震による被害は倒潰家屋70 負傷者10 また同年9月10日鳥取県気高郡野坂川中流域にマグニチュード7.3の地震が発生した。これが鳥取地震といわれている地震である。「断層地割山崩等地変多し死者1083 重傷6153 家屋全潰7485 半潰6158 全焼254」(理科年表より) はじめの2つの地震は前震活動の一環とみることもできよう。

前述の2つの方法を使って昭和5年から21年までに起こった「やや顕著」以上の大きさの地震の走時のデータを整理した結果 早川氏は次のような結論に達した。

- 1) 地殻内を伝播する地震波の速度は永久不変のものではなく 2~3秒程度の到着時間差を生じうる。
- 2) この値はいろいろと吟味した結果 単なる誤差としては考えられない程度の量である。
- 3) この時間的変化は地震の数か月前に現われ 地震の後にもいくらか影響を残している。
- 4) この時間的変化は地震の発生機構とも関係がありそうである。
- 5) 大地震でなくても地震活動の非常に活発な地域ではその活動の前後にわずかではあるが地震波速度の時間的変化が認められる。

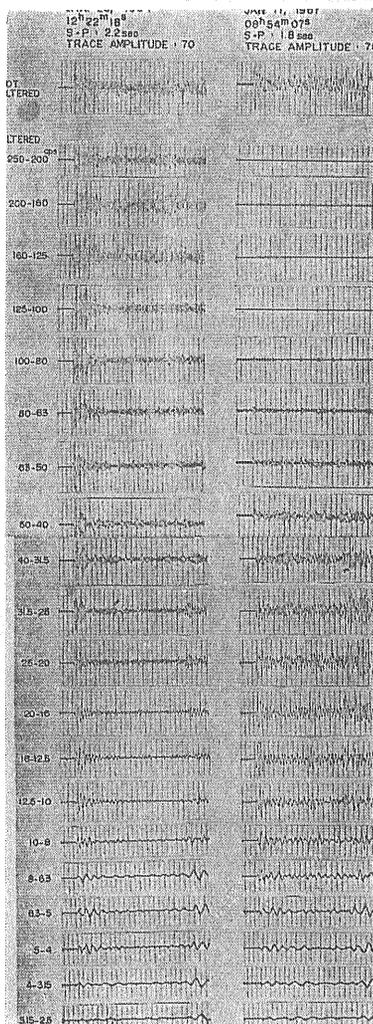
誤差の吟味には 早川氏も相当神経を使っているにもかかわらず 観測精度の点で問題がまだ残されていた。

その後この地震発生の問題につながる魅力あるテーマにあえて挑戦しようという研究者は現われなかった。

その理由は自然地震の場合観測技術が進歩してもいつ(発生時刻)どこで(震源位置)発生したかを正確におさえることが非常にむずかしいという事情があったからである。これができないならば速度の時間的変化を検知することは無理であり自然地震を対象とする限り不可能だと結論に達する。

そこで考えられたのが人工地震による方法である。

人工地震ならば位置時刻が正確に決められるばかりでなくどのくらいの大きさの地震を起こすか規模の制御も可能である。人工震源の位置の決定に当っては過去の地震のデータをもとにして観測に都合のよい場所を選ぶこともできるわけである。このようにして地震の起こりそうな場所をねらって繰り返し観測を続けてい



第4図 松代における群発地震前と群発地震終末期の地震波周波数解析結果 (末広・1968による) 皆神山の気象庁松代地震観測所で 南西方向約15km離れた坂井村付近で起った地震を観測したもの。左列が群発地震前1964年1月23日の地震 右列が群発地震終末期1967年1月23日の地震の記録で一番上の2つの記録がフィルターを通す前の原記録を示す。各記録の左側の数字はフィルターの数字を表わしており たとえば 250-200cpsとあるのはこの周波数帯の波だけがフィルターを通過してとり出されたことを意味している。群発地震後では100cps(サイクル)以上の高周波の地震波がほとんど含まれていないことがこの図からよくわかる

けば 速度の時間的変化をつかむことができるであろう。

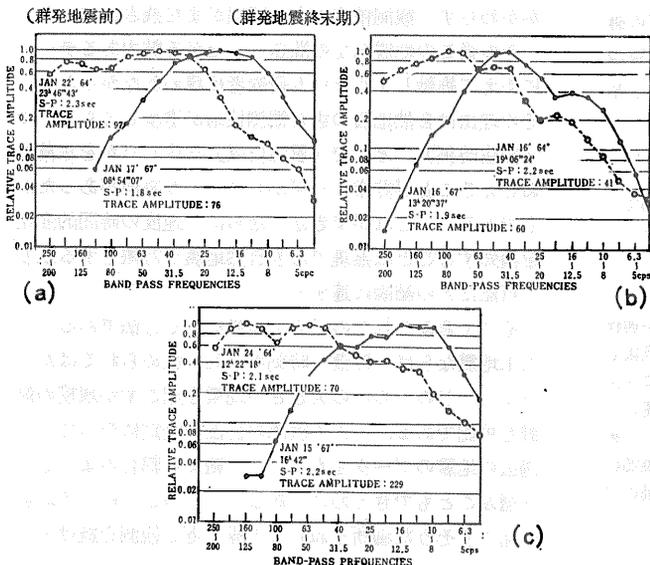
6-2 地震波の周期が時間的に変化した—松代地震の例

一方 地震の前後では震源領域を通過する地震波の速度が変化するばかりでなく 周期も時間的に変化するという注目すべき事実が 松代群発地震の観測データを分析した気象研究所の末広重二氏によって発見された。末広氏はまだ群発地震の起こる前の1963年12月から64年の1月にかけて 皆神山のふもとにある気象庁の松代地震観測所に超高感度の電磁式地震計を持ち込み微小地震の観測を行っていた。この時の観測データが後の貴重な発見につながるのである。

松代群発地震は それから1年数か月後の1965年8月3日から突如始まった。1966年の末までは皆神山を中心とする約10km×10kmの範囲に限られていた震源域が翌年に入ると徐々にその周辺域へ拡大していった。67年1月には 観測点から約15km 西南の坂井村付近で深さ3~10kmの地震が連続して発生した。これらの地震群はまさに前回観測した地震とほぼ同じ地域のしかも同じ深さに起こった地震だったのである。そこで末広氏は前回使用したのと同じ地震計と記録器を同じ場所に設置して観測を行なった。こうして得られた記録をバンドパスフィルターにかけて種々の周波数の成分波に分解してみると(これをスペクトル分析という) 驚くべき結果が現われてきたのである。すなわち群発地震発生後に観測された地震の波は 高周波成分が著しく減衰して卓越周波数がずっと低周波領域へ移動していたのである。第4図にその一例を示そう。この図の左列が群発地震前の1964年1月23日の地震の記録で 右列が

群発地震終末期の1967年1月17日の地震である。一番上の2つの記録がフィルターを通す前の原記録で 各記録の左側の数字はフィルターの周波数バンドを表わしている。この図は群発地震発生後 100ヘルツ以上の高周波成分の波がほとんどなくなってしまっていることを鮮やかに描き出している。このようにしてスペクトル解析した結果を図示したのが第5図の3つのグラフである。このグラフの縦軸は地震波の相対的な振幅を 横軸は周波数バンドがとってあり 点線が群発地震発生前 実線が発生後のスペクトル分布を表わしている。発生後ではスペクトルのピークがいずれも低周波領域へ大きく移動していることがわかる。

一般に地震波の周波数に影響を与える要因としては



第5図 群発地震前後のスペクトル分布の比較(末広・1968による) 縦軸は相対的な振幅が対数で目盛っており横軸は周波数バンドがとってある 点線が群発地震発生前 実線が発生後のスペクトルを表わす

- ① 震源から送り出される波が変わってしまう場合
- ② 波が通過してくる経路の途中で変わる場合
- ③ 観測計器の周波数特性のちがいによる場合

の3つが考えられる。同じ観測器を同じ場所に設置することにより③の要因はとり除くことができる。したがって残るのは①と②のいずれか または両方が重なり合っているかどうかということになる。末広氏は種々のデータを吟味した上で 震源から出る波は同じであるが 観測点に至るまでの経路が変化したために高周波成分が減衰してしまったのだと結論した。皆神山を中心とする地域は非常に多くの地震が起こって震源領域はぐさぐさの状態になり 地震波は散乱現象を起こして高周波成分ほど早く減衰してしまったので そのためみかけ

上低周波成分の波が卓越するようになったというのである。この事実は非常に重要を発見であったといえる。理論的には十分考えられたことであるが それがはたして観測にかかる量に達するかどうかかわかっていなかったからである。時間的にその変化を追っていけばスペクトルのピークは徐々に低周波領域へ移っていったであろうし 群発地震が終わって今後どのような時間的推移をたどるかも興味ある問題である。(筆者は物理探査部)

文 献

早川正巳(1951):地震波速度の時間的变化に関する研究 地質調査所報告 No. 142
 末広重二(1968):松代群発地震前後における近地地震スペクトルの変化 気象研究所研究報告 vol. 19 no. 3 p. 427-435 (英文)



地学と切手



フンボルト死去 100 年

生誕 200 年記念切手 P. Q.

フンボルト (Alexander V. Humboldt) は1769年9月14日ベルリンで生れた。幼時から自然に対する探求心が深く、これは2才年長の兄ウィルヘルムによって啓発されたといわれる。この兄も哲学者で政治家だった。彼は大学をゲッチンゲンで学び、後にフライベルグの鉱山学校でウェルナーに師事し、最初の論文 Mineralogische Beobachtungen über einige Basalte am Rhein を1790年に書いたが、いうまでもなく玄武岩を水成説に基づいて書いたものだった。ウェルナーに師事した頃はレオポルト・フォン・ブッフも師事していた。1792年から鉱山技師として鉱物・植物の研究をし、広く旅行してワイマールではゲーテと親交を結んだ。1799年から5年間、彼の生涯の仕事の場となった中南米へ旅行することとなる。この結果は「新大陸赤道地方への旅行」 Voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent として20年を費して出版された。

フンボルトは一般に近代地理学の基礎を確立した人と

して知られている。等温線を最初に描いていろいろの国の気候条件を比較する方法を立案し、海拔高度に伴う平均気温降下の割合を研究し、極から赤道に向かって地磁気の強さが減少することを発見し、後に世界中に観測網を張ることにイニシャチブをとり、これが科学における最初の国際協力となる一植物地理の研究を行なったことなどが有名であるが、地質学に不滅の功績を残したのは火山と地震に関する観察と研究である。中南米の火山を記載するに当って、彼は従来の水成説をなげうって火成説に変わり、火山作用の力を重視した。火山の配列と分布とを強調し、火山を地殻内部深所の裂け目としたのはまったく従来の考えを破ったものであった。また、メキシコ湾岸、アンチルス諸島における火山と地震とが関連していることに注目した。しかし後年においても火山の隆起火口説に執着していたことは興味深い。その後は1829年にウラル、アルタイ地方を旅行し、ウラル山脈の地質、構造、鉱山などを研究記述した。そして大著 Kosmos を執筆するかわり、ベルリン大学を世界学術の中心とする基礎を築き上げ、1859年5月6日、90才で死んだ。彼の名は南米大陸太平洋岸を洗うフンボルト海流として知られ、カリフォルニアやニューギニアにおける湾の名、グリーンランドの氷河の名、ネバダにおける山脈や川の名として残っている。

切手は1959年と1969年6月3日にコロンビアで発行されたものである。同じ生誕200年記念が9月12日に西ベルリン、ベネズエラでも発行されている。1959年には死去100年記念が東西ドイツで発行されたとのことである。死去100年切手の肖像は、J. STIELER によるもので、西ベルリン、ベネズエラで発行されたものと同じ。