

地震に伴う地殻変動の国際共同観測報告

(序 報)

地 殻 変 動 部 門

REPORT ON THE INTERNATIONAL COOPERATIVE OBSERVATIONS OF THE CRUSTAL MOVEMENTS RELATED TO SEISMIC ACTIVITIES (PRELIMINARY REPORT)

By Research Section of Crustal Movement*

Synopsis

For the purpose of researching the relations between crustal movements and seismic activities and finding out some clues for earthquake prediction, the international cooperative observations of the crustal movements were planned to execute by the three countries of Japan, Peru and Chile.

The eight of thirteen observation stations are distributed in Peru and the five in Chile, and the observations in Peru and Chile were commenced respectively at the end of 1965 and the beginning of 1966.

In this preliminary report, the significance of the observations, the process from plan to practice of the observations, the main contents of agreement on the cooperative works, the locations and conditions of the observation stations, the equipments and methods of the observations and the like are described in some detail.

緒 言

ペルー、チリ両国内の計13カ所において、京都大学防災研究所とペルー地球物理研究所、サン・アグスチン大学地球物理研究所、チリ大学地球物理学・測地学教室との共同による長期の地殻変動連続観測が、1965年10月から1966年1月にかけて開始された。この共同観測の正式名称は、「地震に伴う地殻変動の国際共同観測」といわれる。序報では、共同観測の目的と意義を明らかにすると共に、観測対象地域である南米太平洋岸の地体構造や地殻変動に関連の深い地球内部の諸現象と、それらを考慮して配置された地殻変動観測所の分布、各観測用横坑の状況、観測器械の種類・性能、などを詳述して、今後逐次公表予定の観測報告に関する基礎資料に供したい。末尾にはこの共同観測を開始するに到った経緯と過程を参考までに附記した。

1. 共同観測の方式

京都大学防災研究所とペルー国公共事業開発省ペルー地球物理研究所、ペルー国サン・アグスチン国立大学理学部地球物理研究所、およびチリ国 国立チリ大学 物理学・数学部 地球物理学・測地学教室（以下それ

*Yutaka TANAKA is responsible for the wording and contents of the report.

それ京都大学あるいは防災研究所、ペルー地球物理研究所、サン・アグスチン大学、チリ大学と略す。原名については **Table 1** 参照、なお文中の国名、協定機関名には片仮名を用いた) の3機関が国際的に協力して地殻変動の長期連続観測を開始するにあたり、共同観測の方法について、防災研究所と先方3機関との間に、それぞれ別個に協定書を取り交わした。その内容は、この計画を立案し、推進された故西村英一教授(1964年3月逝去、京都大学理学部、同防災研究所、元防災研究所長)が、1962年、中南米諸国を訪問し、関係諸機関と協議された結果を骨子として作成された(この間の事情については本序報附記を参照)。協定書は英文をもって正本とするが、主な条項を略述すればつぎの通りである。

- (1) 京都大学は観測器械を準備し、現地機関(前記協定先3機関の各々)に寄託する〔第3条(1)、第5条(14)〕。
- (2) 現地機関は、あらかじめ京都大学と協議の上定められた地点に、観測用横坑を掘さくし、諸設備を準備する〔第3条(2)、(3)〕。
- (3) 観測器械の据付けおよび調整は原則として京都大学が行なう。なお同時に観測遂行上必要かつ十分な技術を指導する〔第4条(1)、第5条(3)、(4)〕。
- (4) 観測器械設置後の連続観測の維持は現地機関が行なう〔第5条(5)、(6)、(7)〕。
- (5) 京都大学は観測用記録紙他消耗品類を毎年送附する。また器械の修理代替の経費は双方で分担するが、現地で修理または調達の不可能な特殊物品は京都大学が調達補充する〔第5条(15)、(16)、(17)〕。
- (6) 観測記録は現地機関の責任者が保持し、原寸大の複写を必要資料と共に京都大学に送附する〔第5条(10)、(11)〕。
- (7) 観測資料の解析結果は、たがいに交換し双方が共同で討議し、原則として連名のもとに公表する〔第6条、第7条〕。
- (8) 協定は10年間効力を有するが、相互の合意によりさらに延長することができる〔第14条、第15条〕。

その他観測実施上の詳細を含めて合計16条(第3、4、5条はそれぞれ3、3、17項に細分されている)から成っている。この協定は双方の署名が完了した日から効力を生ずるとしてあるが、京都大学側は総括責任者である防災研究所長と契約担当官である京都大学事務局長が1965年10月6日に署名し、ペルー地球物理研究所側は総括責任者である同研究所長が、サン・アグスチン大学側は総括責任者の地球物理研究所長および連帯責任者として総長が、チリ大学側は協定責任者として総長が、それぞれ1965年10月12日、同11月2日、1966年1月10日付で署名を行なった。協定機関、総括責任者および連帯責任者は **Table 1** にまとめて表示した。なお、各協定機関の内部機構により、特定の部門が観測を直接担当する場合があります、総括責任者の他に、観測担当責任者が決められた。

この協定のもとに、観測現地の3機関は、それぞれの観測担当地域内の4ないし5カ所の観測所(観測用横坑)において、長期の常時観測を維持することになるが、ペルー地球物理研究所(本部は Lima 市)は Lima (行政区名 Departamento de Lima) の南に隣接する Ica (イカ) 地域 (Departamento de Ica) を担当し、観測所は Condor (コンドール), Guadalupe (ガダルーベ), Saramarca (サラマルカ), Zamaca (サマカ) の4つを受持ち、観測担当は同研究所地震部門である。現在総括責任者である Giesecke (ギーセッケ) 所長が、観測担当責任者を兼ねているが、いずれ Deza (デサ, Ernesto Deza M.) 技師が観測を担当するはずである。サン・アグスチン大学側は Ica 地域のさらに南に接する Arequipa (アレキパ) 地域 (Departamento de Arequipa) を担当し、Arequipa, Ayanquera (アヤンケラ), Ongoro (オンゴロ), San Gregorio (サン・グレゴリオ) の4カ所を受持ち、Rodriguez (ロドリゲス) 所長が観測担当の責任者であり総括責任者でもある。チリ大学側は, Quelitehues (ケルテウエス), Polcura (ポルクーラ), Rapel (ラペル), Concepción (コンセプション), Tololo (トロロ) の5カ所(便宜上 Santiago 地域とする)を担当し、Kausel (カウセル) 所長が観測担当の責任者である。このうち、Concepción はチリ大学の責任において、チリ国立コンセプション大学 (Universidad de Concepción) に観測を委託すること

Table 1 System of the cooperative observations

Country	Observation station	Responsible organ under the agreement	Leader of the project	Section in charge of the observation (The representative)	Jointly responsible person (Signer to the agreement)
JAPAN		Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Kyoto, JAPAN	Director of the Disas. Prev. Res. Inst. (Tōjirō Ishihara, since Apr. 1, 1966) (Shōtirō Hayami, till Mar. 31, 1966)	Research Section of Crustal Movement (Tokio Ichinohe)	Officer in Charge of Contracts, Director-general of the Secretariat of Kyoto University (Minoru Yokota)
PERU	Ica region	Instituto Geofísico del Perú, Ministerio de Fomento y Obras Publicas, Lima, PERU	Director Ejecutivo del Instituto Geofísico del Perú (Alberto A. Giesecke M.)	Departamento de Sismologia	
	Arequipa region	Instituto Geofísico, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, PERU	Director del Instituto Geofísico (Anibal Rodriguez Begazo)	Instituto Geofísico (Anibal Rodriguez Begazo)	Rector de la Universidad Nacional de San Agustín (Carlos Nuñez Valdivia)
	Arequipa				
	Ayanquera				
	Ongoro				
CHILE	San Gregorio				
	Santiago region	Departamento de Geofísica y Geodesia, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, CHILE	Director del Departamento de Geofísica y Geodesia (Edgar Kausel V.)	Departamento de Geofísica y Geodesia (Edgar Kausel V.)	Rector de la Universidad de Chile (Eugenio Gonzalez Rojas)
	Queltehues				
	Polcura				
	Rapel				
	Concepción				
	Tololo				

になる可能性がある。京都大学側は防災研究所長が総括責任者（協定成立時より1966年3月まで速水頌一郎前所長, 1966年4月より石原藤次郎所長）であり, 観測担当は地かく変動部門, 観測担当責任者は一戸時雄（併任教授）である。全地域の観測所配置は Fig. 1 に示した。このような態勢のもとに今後少なくとも10年間の共同観測を行なうわけであるが, もちろん期間の延長は当然行なわれることが予想され, 先方3機関もその意向のようである。

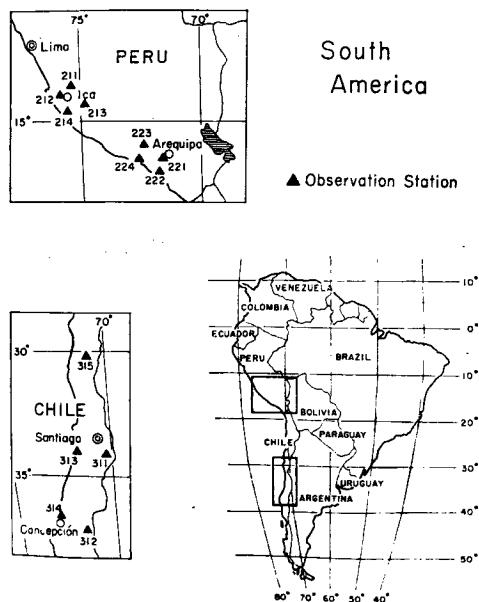


Fig. 1 Location of the observation stations for crustal movements.
(ref. Table 2)

2. 共同観測の目的と意義

「世界すべての地震国にとって, もっとも恐い破壊的大地震を事前に察知し, その惨害を可及的に防止・軽減する最善の方法を見出すことは, われわれ地震学者に課せられた最大の責務である。かかる見地にたつて, 単に日本においてのみならず, 広く世界の地震国すべての協力によってこの問題の解決に進むべきであり, ……そしてこのような協力体制のもとにおいて始めて人類の共通の敵である大地震の本性を明らかにし, その惨害からわれわれの社会を守ることができると信じる」〔西村英一: 地震に伴う地殻変動の国際共同観測 (趣意書) より〕。

共同観測の目的と意義の大綱は, この西村教授の言葉につくされているが, 最近の地殻変動の研究面からさらに詳しく述べてみたいと思う。

この観測の窮極の目的は, 地震発生前後の地殻のひずみや傾斜の変化状態, すなわち, 地震あるいは地震活動に関係した地殻変動を, なるべく多数地点で連続的に測定して変動様式の特徴を調べ, 地震発生の原因や機構などの本性を解明するとともに, その成果を応用して, 将来地震予知を実現しようとするものである。

一般に地震予知のための研究方法は, 第一に地殻変動, 第二に地震活動, 第三に地磁気および地電流の変化をはじめ地球内部の物性の変化に伴う諸現象などの観測に大別されるが, その他, 岩石の変形・破壊などの実験や, 理論的研究など数多くの大いなる基礎的研究が必要であり, 地震の予知は, 地球物理学, 地球化

学および地質学の大部分の分野の総合的研究課題である。

地震発生の原因について、まだ定説はないにしても、地震の発生は、Crust あるいは Mantle 上層部のある部分に、何らかの原因でひずみ energy が蓄積し、局所的に集中して、ついに岩石が破壊し、瞬間的に解放されたひずみ energy の何程かが波動の energy となる現象であるから、地殻変動の観測や測量は、ひずみ energy が蓄えられ、あるいは、解放されることによって生ずる地殻のひずみ状態や動きの空間的な拡がりや量を測定し、また、それらの地震発生前後の時間的変化の過程を連続的に観測しようとするものである。地震予知の手段としては、もっとも直接的な方法というべきである。ただ、地殻変動による方法だけから地震の予知を行なうことは、技術的にむずかしく、その他の諸現象の観測、少なくとも地震の観測と平行して行なわなければならないことはもちろんである。

地殻変動の計測方法は、さらに、二つに分けられる。一つは、水準測量、三角測量、辺長測量などを反復して行なう測地的方法であり、これによって地殻変動の空間的な拡がりを知ることが可能である。そして、さらにそれをできるかぎり反復することによって、空間的な分布と同時に、地殻変動の時間的変化をも知ることができる。しかし、反復の度合いには実施上の制限があり、しかも、地表面での観測・測量は気象の影響を伴うから、効果的な反復時間にもおのずから精度上の限界がある。今一つの方法は、傾斜変化計、伸縮変化計（歪計）、重力変化計および験潮儀などによる連続観測である。これは、ある地点に各種の観測器械を長期間設置して、その地点での地盤の傾斜や伸縮あるいは昇降運動などの時間的変化を連続的に自己記録させる方法であるが、方向や量など定量的な面を考えると、一地点のごく狭い範囲内での変化が卓越し、局所的な影響を受けるおそれがある。しかし、連続観測では、地殻内部におけるひずみ energy の蓄積から地震発生にいたる過程を反映した地殻の連続的な動きを、逐次、記録することができ、変化の過程を重視する地震予知のためには、必要欠くべからざるものである。不要な局所的変動は、解析の過程や地域的な精密測量、その他いろいろな方法である程度までとりのぞくことができるが、局所的異常を知ると共に、地震に伴う地殻変動の空間的な拡がり確かめるためには、観測地点をできるだけ多数設けることが望ましい。このように密なる観測網で長期間の連続観測を行なってはじめて、地震に関係した地殻変動の空間的な拡がりや時間的変化の両者を同時に、すなわち、地殻変動の全貌を一挙に知ることができるのである。

京都大学防災研究所は、現在、日本国内に1つの地殻変動観測所と18の観測室をもち、地殻変動の観測を継続しており、地震予知研究計画の一かんとし、さし当って、3つの観測所とその下に約30の観測点を計画しているが、この観測網が完成したとしても、中部、近畿、九州の一部を蔽うにすぎない。各大学・研究機関が、分担し協力して、地震予知研究計画に基づいて組織的に増設をはかっているが、予知方法の研究に十分なだけの観測器械が配置されるのは、なお遠い将来のことになりそうである。

地震予知研究計画（1962）にも示されているように、少なくとも日本国内に合計100の地殻変動観測所を設けることが必要とされている。予知研究のためにこのように多数の観測所を必要とするのは、各種資料の急速な集積のためであることはもちろんであるが、その上に、それぞれの地震区域によって地震の性質、したがって地殻変動の様式が異なる可能性があるからでもある。まず第一に、一つの地震についてみても、発震機構を考えた上での観測点と震源の相対的位置による地殻変動の様式のちがいが、いかに主歪力の方向に対する地表面の最大ひずみの方向や量、傾斜 Vector などの空間的な分布と、その分布の時間的な変化の様式を多くの点で確かめなければならない、そのためには、一つの地震多発地域にもいくつかの観測点を必要とするからである。第二に、日本には幾つかの地震区域があるが、そのそれぞれの区域について、地震の起り方や、発震機構が各種各様であると同時に、それに伴う地殻変動の空間的な拡がりや時間的変化の様相というものは同様に多岐に亘っているはずであり、これを分類整理して、多くの地震の中に、地殻変動上の共通性と根本的な差異を見出さねばならないからである。そしてまた、同じ場所で長期間の連続観測を必要とするのは、この多様性が、これら個々の地震が属する深度別、地域別の特定な地震区域によるものであると同時に、また同じ地震区域の中でも時間と共に地震系列がかわれば、地震の起り方も、それに伴う地殻変動の様式も異なることが推察されるから、様式の地域的差異と同時に、時間的転換を確かめねばならない

からである。さらにまた、地震予知のための基礎的な問題は、一つの特定の地震区域の一連の地震活動の消長というものが、ある期間、かなり広範囲の地域に、energy の供給、蓄積、放出が連続的に行なわれる過程であるとすれば、一つの地震または小地震群とそれに伴う一循環の地殻変動との間に一対一の対応が必ずしもつくとは限らないことが予想され、まず地震活動と地殻変動の関係を調べ、その中に個々の地震に関係した地殻変動が見出されるならば、それがこの一連の地震や地殻変動の中でどのような位置と役割りを占めているかということを基礎として、系統的に共通点と差異点を明らかにすることが必要である。そのためには組織的に何点かの観測所を各地震区域に配置し、長期間の観測を行なわなければならない。つまり地震を予知するためには、一循環の地殻変動が広範囲な長期にわたる地殻運動の中でどのような役割を演じているかを見極め、その空間的な拡がりを確認し、しかもその拡がりの中の各点での変化の過程を知らなければ、将来少なくとも地震の規模、発生場所、時期を必要な程度に予報することはむずかしい。結局は、資料の数が決定的なものとなる観測では、観測点をふやすことが先決問題である。しかし、観測坑を掘さくし整備するにも莫大な経費を要し、その観測を維持するにも研究費には限度があり、必要な人員も得られない現状では、一研究所としてやたらに観測器械を増設するわけにはいかないのである。

日本国内の観測拡充が一時に望めないならば、資料集積のために、日本と条件の似た地域を選び、その国と共同で観測し、得られた資料を共同で利用する方法が考えられる。それも、全く同じ条件ということはいふ得ないから、似た条件で、日本よりさらに観測やその解析の容易であるような地域が望ましい。日本の地形と地質構造、そしてこれらを造り出した造構造運動がなお続いているとすれば、現在の地殻運動も、最初の研究対象としては複雑すぎるきらいがある。地震の原因となる力が造構造力に関係あると考えれば、このような地域は、地震区域も小規模で数が多く、地震の性質も多種多様、それに伴う地殻変動は、複雑な地質構造の影響を受けるためばかりでなく、本質的に複雑であるかも知れない。このように日本列島は研究上興味ある地域であっても、これを体系づけ、基本的な様式を見出すのは容易ではないと思われる。

さて、世界大地震分布図 (Fig. 2) に見られるように、浅発大地震の大部分は、環太平洋地域に発生している。また 70 km より深い地震は、そのほとんどが環太平洋地域に集中しているが、例外として、Alaska 半島から北米大陸にかけてはほとんど発生していない。この中で、日本列島に似通った条件の地域として、Philippine から延々 New Zealand に達する東南アジア・南西太平洋地域は、地球物理学的にみて興味深いところであるが、その地下構造も地殻物理的諸現象も日本以上に複雑である可能性があり、観測所の配置も困難と思われる上、その地域の一般情勢も考慮しなければならない。また、Alaska 半島から California にかけては深発地震の発生がみられず、それから想像すれば、浅い地震の起り方も日本と多少異なる可能性があり、しかも、この地域では、最近、地殻変動の観測を自国で大規模にやりはじめている。一方、中南米の太平洋岸をみると、地形的には、前面に海溝があり、背面に火山が活動し、浅い地震から 700 km におよぶ深い地震まで多数発生しており、この点においては、日本にかなり似通った地域である。ただ違うのは、日本列島のように地形が複雑ではなく、地質構造も第三紀の造山帯の中では規模も大きく単調な方で、いろいろな面で地域的特殊性が少なく、地震区域も単位が大きいと予想され、地殻変動の研究には、環太平洋地域の中のみならず、全世界の中でも有数の Model 地域と考えられるほど恰好な条件下にあるという点である。

ところで、この地域の地震研究態勢のうち、地震観測の分野は、1960年以降、アメリカ合衆国の諸機関 [U.S. Coast and Geodetic Survey, Carnegie Institution of Washington (Department of Terrestrial Magnetism), Columbia University, University of California など] の援助によって、設備や計器は順次整備されつつある。しかし、地殻変動の研究、とくに連続観測に関してはほとんど未開拓である。(これは、単に中南米に限らず、世界を通じて見ても、アメリカ合衆国、ソ連邦、イタリアなどで最近やっと手がけられはじめた分野で、日本が指導的役割を果たさねばならぬ由縁でもある。) 例えば、過去において、ペルーおよびチリで行なわれた唯一の地殻変動連続観測らしいものは、Lima 市近郊の Ñaña (ニャーニャー) と Santiago 市の San Cristbal (サン・クリストバル) の丘それぞれの横坑内に設置されている Benioff 型歪地震計 2 成分による観測であるが、これらはいずれも本計画で目的としているような地殻変動の観測を

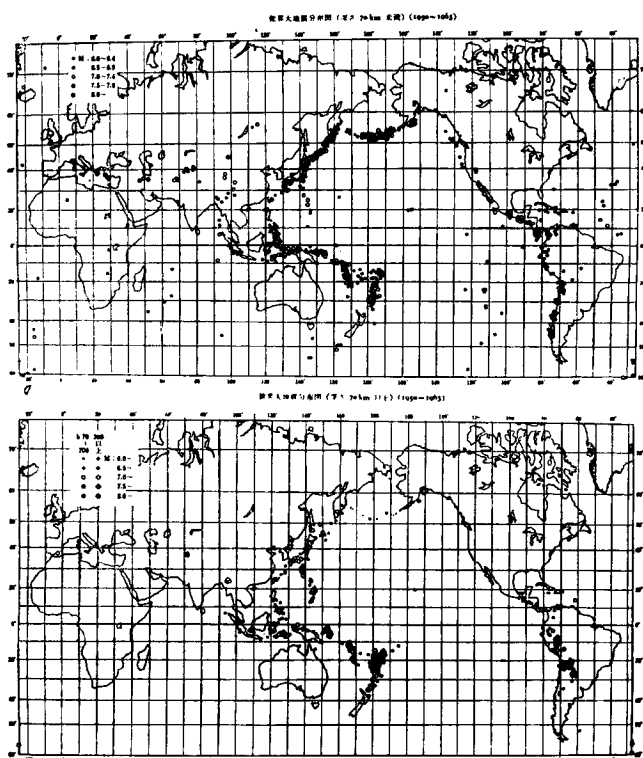


Fig. 2 Distributions of major earthquakes in the world (1950—1963)
(reproduced from the “Rikanenpyō”, 1966)
Upper : depth < 70 km
Lower : depth $\geq$ 70 km

行なうのではなく、より周期の短い現象をとらえることを主目的としたものであり、器械は California 工科大学地震研究所 (Seismological Laboratory, California Institute of Technology) から提供され、現地では記録の取替えが行なわれているだけである。この他、最近 Ñaña に巨大な水銀傾斜計 2 成分が歪地震計に併設された由であるが、Santiago に設置されている歪地震計は、坑道の状況が悪く、ほとんど記録がとれないまま観測を休止し、移設を予定している状態である。このように、ペルー、チリ両国とも、地殻変動の連続観測を行なった事実はほとんど認められない。しかも、両国とも日本以上に、大被害を伴う破壊的大地震がしばしば発生する地域であることは、よく知られている通りであり、この両国には、台風・洪水・高潮もなく、むしろ、渇水に悩む地域が多い以外は、自然災害の面ではきわめて平穏なだけに、かえって大地震に対して関心が高く、地震の予知実現の早いことを願っているのは日本に決して劣るものではない。このように、地震予知に関する研究を必要としながら、この種の観測に経験のない国に対して、その技術指導をかねて共同観測を行なうことは、単に地震予知のためばかりでなく、当該諸国に対しては、長期間の観測を必要とするような自然科学研究を促進刺激することにもなると信ぜられる。

もちろん、この種の研究は観測さえはじめれば直ちに目処のつくようなものではない。10年、20年の地道な観測を経て、はじめて成果のあらわれるものである。つまり地震予知といってもその手はじめには、まず、地殻変動の地域的局所的特性を知らなければならない。それには、少なくとも 5 年位の観測資料を必要とする。この期間というものは、決して縮めることのできないものであって、将来、いかに高性能の観測計

器が現われ、あるいは、一時に多数の観測点を設けることが可能になったとしても、地震予知に役立つ基本的な地域特性を知るためには、自然現象を人工的に作りだすことができない以上、同じく5年、10年の歳月を必要とするのであって、日本の観測結果をそのまま適用できる性質のものではない。その地域でいま観測を開始しなければ、それだけ遅れることになり、決して追いつくことのできないものである。しかし単に国際親善のために共同観測をする、あるいは、技術指導をするということだけに意義があるのではない。

先に述べたように、日本側としても、地殻変動の資料をより少ない経費と人員で比較的やすく入手できることになり、しかも Model 地域での組織的な観測所の配置から得られる観測資料を、日本国内の観測資料と合わせれば、その効果は非常に大きなものになる。すなわち、地殻変動の観測に30年近い経験を有する日本国内においては、地震に関係した地殻変動の様式について、すでにいくつかの研究がある。南米の観測結果が同じものならば、国内で得られた結果を合せて、地殻変動の様式について普遍的な基本法則を見出し、また、これを体系づけることができる。もし、全く異なった結果がでたとすれば、地震の地域的特性が顕著で、将来、予知を必要とする地域ごとにその様式を見出さなければならないということになり、それなりに重大な意義をもつ。

確かにその様式は、完全に同じものではありえないであろう。しかし、どのような型の破壊が地球内部で行なわれるにしろ、地表面での変動の空間的分布と時間的変化に何らの共通性も見出せないということも考えられない。おそらくはいくつかの基本型の混交であろうが、この基本型を多くの資料から系統的に見出すことが、地震の本性を解明し、地震予知を行なうためにもっとも必要なことである。いずれの結果がでるにしろ、南米現地での観測は、地殻変動の研究の上で極めて重要な意義をもつものと考えられる。さらに観測の成果は、単に地震予知の面にとどまらないであろう。その観測記録は、そのままだちに地球潮汐の研究に利用され、観測値のほとんどない南米大陸の空白を埋めるであろうし、将来、地球物理学上、構造地質学上の基礎的な研究課題、たとえば、日本国内の観測と相俟って、環太平洋の地殻運動の研究にも資料を与えるものと期待される。その成果は世界の地震学・測地学・災害科学に寄与するところ大なるものと信ずる次第である。

3. 地殻変動観測所の配置

観測所をどのように配置するかは、きわめて重要な問題であり、ときには観測の効果を左右するものともなるが、その配置方法は観測の目的によって異なるのは当然である。日本の地震予知研究計画では、特定の地域には少なくとも 50 km 平方に平均 1 か所の観測所が必要であるとされているが、いかなる目的の場合でも意を用いるべきことは、観測器械をいかに有効に配置するかということである。

いままでに得られた大地震に伴う地殻変動の研究結果からすれば、水準測量で認められるだけの変動が起るのは、超特大級の大地震を別として、せいぜい 50 km 以内であり、連続観測からは、まず、100 km 以内である¹⁾。もし、個々の地震に直接関係した異常変動を予知研究に直ちに役立つ程度に観測することが主目的ならば、もっとも頻発する地帯に、相互距離 50 km 以内を標準として、観測所を配置すべきである。

一方、最近の研究結果から^{2), 3), 4)}、ある地震頻発域全体の energy の蓄積と放出、すなわち、ある特定の地域の地震活動の消長と、その地域を含む波長 100km あるいはそれ以上の広範囲にわたる地殻運動の間に、密接な関係のあることが予想されるようになった。現在のところ、連続観測から得られる個々の地震に伴う地殻の異常変動の初期段階¹⁾ というものは、この広範囲の地殻運動の極点とも考えられるのであるが⁵⁾、そうすれば個々の地震やそれに伴う地殻変動が一連の地震活動や地殻変動の中で、どのような役割りを果しているかということが、きわめて重要な問題となるのである。このようなある地域の地震発生の全体的な機構や地震活動と広範囲の地殻変動の関係を調べる目的のためならば、差当って、観測所をかなり広域に分散して、その要所に配置し、将来、それを中心に観測網を密にさせて行く方法も考えられるのである。現在の先方機関の研究態勢、人員と機動力など、観測維持の点から考えて、結局、ペルーの2機関が担当する地域の観測所配置は、ともに、相互距離 50 km から 120 km までで集中的であり、チリでは、観測坑の掘さ

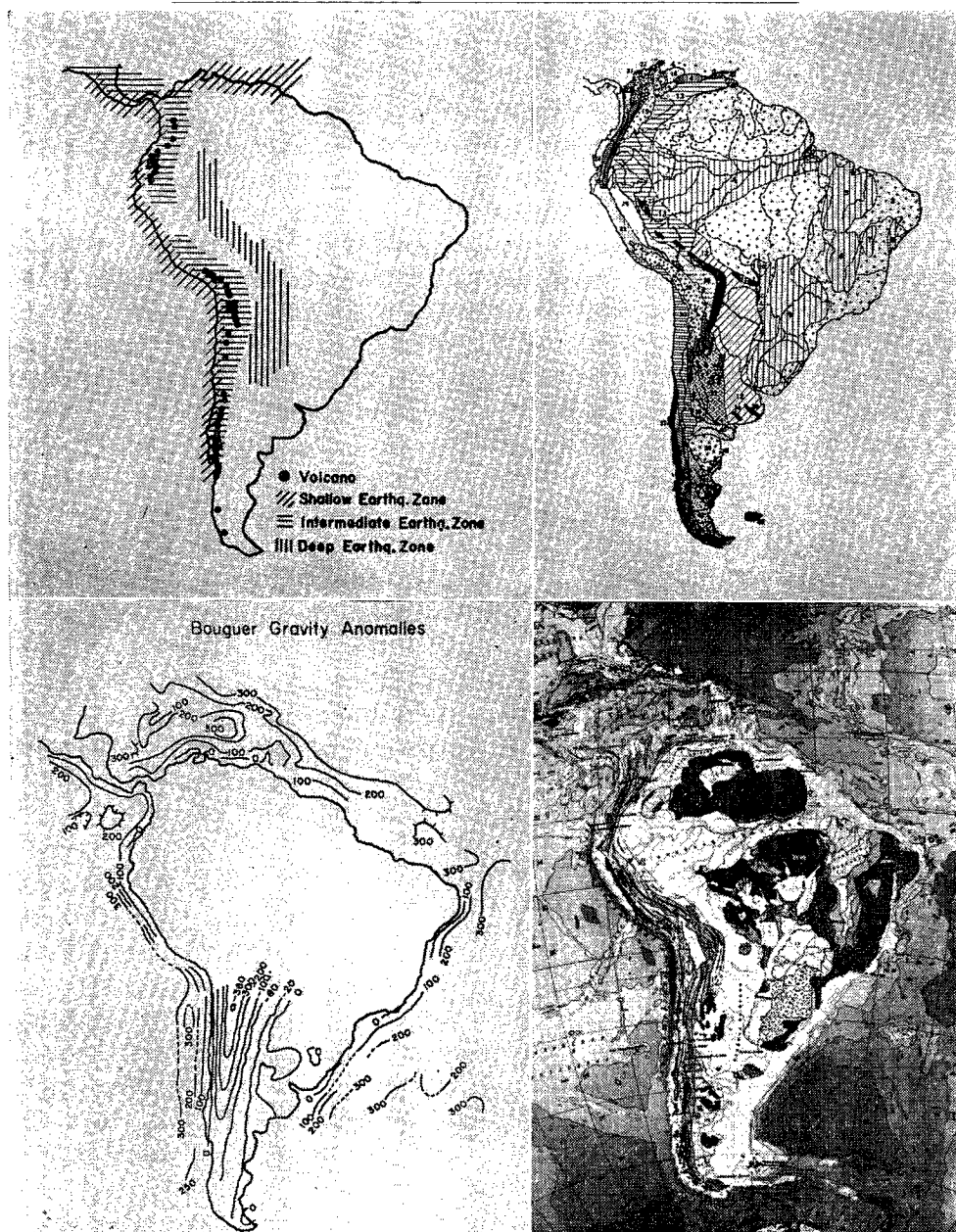


Fig. 3 Upper left : distribution of active volcanoes and seismic zones in South America
 Upper right : main morphostructural regions of South America, 1, 2, 3 : Shield, 4—10, 40—42 : Basin, 12, 13 : Plains, 14, 15 : Caribbean Range and Venezuelan Andes, 19 : Sierra de Santa Marta, 20, 23 : Eastern and Western Cordilleras of Colombia and Ecuador, 24 : Bolivar Geosyncline, 25 : Western Cordilleras of Peru, 26 : Central and Western Cordilleras of Peru, Bolivia and Northern Argentina, 28 : Puna and Altiplano, 29 : Sub-Andean Ranges, 30 : Principal Cordillera, 32 : Pampean Ranges, 36 : Patagonian Cordillera, 37 : Coast Cordillera, 38, 39 : Patagonian Massif (after H.J. Harrington)⁵⁾
 Lower left : Bouguer Anomalies Chart (rough arrangement of both the "Gravity Chart of the Southern Andes" and "Charts of Simple Bouguer Gravity Anomalies")^{6), 7)}
 Lower right : tectonic map of South America (reproduced from the "Geophysical Atlas of the World")⁸⁾ ~ : anticlinoria and anticlinorium

くの都合から(附記参照), 南北 800 km にわたって, 拠点的に配分することになった。

実際に, 3つの地域内での, 観測所のもっとも効果的な位置を決定するためには, 詳しい資料が必要で, 日本国内であれば, ある程度まで地震区域や構造運動上の不連続線がすでに研究されているが, 南米に関しては資料が少ない。しかし, 利用できる範囲の資料を基にし, また記録解析上の便宜も考えて基本的な計画をたてた。(本序報に「南米太平洋岸の地体構造と地殻物理学的諸現象」の項を予定していたが, 紙面の都合で次の機会に譲り, 図の一部を掲載するにとどめる。)

原則の第1は, 一つの地塊として運動し, あるいは変動の様式が同じであると考えられる範囲に, 可能な限り2カ所の観測所を設ける。第2に, 地殻運動の軸のようなものが考えられるならば, その軸に平行および垂直な方向に配置する。この2つの配置原則はもちろん現在の造構造運動と地震活動に何らかの関係を予想しているわけであるが, この2つを考慮して観測所を配置するためには, 地殻運動上の不連続面や, 地殻変動様式の方角性を推測しなければならない。現在のこのような運動を知るためには, 広範囲の水準測量と三角測量を必要とするが, 残念ながら, ペルー・チリに関してその資料を入手していないし, 地殻変動を検出できる程度の精度も, 実施範囲と反復数も日本の成果ほどに期待できないと思われる。ところで, 現在の地殻の運動は, 過去の運動様式の繰返しとその発展であると考えられ, 地質時代のごく最近に, 過去とは全く無関係な運動が生じたとは考えられない。この地域で第三紀の造山運動が続いている確証はないが, 消滅

したということもできない。地震が発生するということは, その発生場所に, 力が働いているということであり, この地震発生地帯が第三紀の造山運動のあったところに多いという事実は, 活火山の分布と共に, この運動が, 少なくとも何らかの形で続いていると考えてよいと思う。それ故に, 過去の地殻運動の結果である現在の地形と地質構造は, 過去の地殻運動とつながりのある現在の地殻運動を知る上で大いに参考になる。Fig. 3はその資料として示したものであり⁵⁻⁸⁾, Fig. 4はペルー, チリ, ボリビアの地質図を基にして, 必要程度に単純化させた中央 Andes 地帯の地質図である⁹⁻¹⁴⁾。なお表層の複雑な小単位の構造は, 局所的に地殻変動の方向と量を規制する可能性はあるが, もっとも浅い地震の発生する程度の深さで深に原因をもつ地殻変動の場合, 表面の小構造はほとんど地殻変動の様式までを支配することはないと考えられる。

さて, 南米大陸の太平洋岸 6800 km にわたって, 世界最長の Andes 山脈が走っている。東側は古い安定陸塊であり, 西は太平洋の基底部である。Andes はその間にはさまれた厚殻型褶曲山地で, その狭い帯状の中に, さらに幾つかの褶曲軸をもつ。この褶曲は一度に成されたものではなく, 隆起褶曲は西から東に進み, 上部白亜紀から, 新第三紀にかけて行なわれた。これらの褶曲軸はすべて現在の海岸線に平行であるが, 厚殻型褶曲山地の常として断層運動が著しく, その方向も海岸線にほぼ平行である。1946年にペルーの Andes 山中に発生した地震でできた延長 5 km, 落差 3.5 m の地震断層もこの海岸線に平行である。

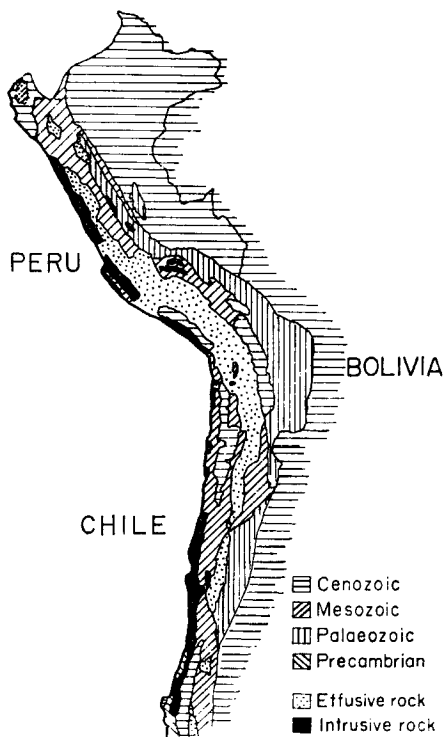


Fig. 4 Geological map of the central Andean region (roughly compiled by Y. Tanaka, basing on the "Mapa Geologico del Perú", the "Bosquejo Geologico de Chile" and the figure of "Geologic structure elements of Bolivia")^{9), 11), 14)}

火山現象もまた激しく、約50の活火山を含んでいて、そのうち約20は北部のエクアドル、コロンビアに、同じく約20がペルー南部とチリ北部にある。これらの火山は、幾条かに分かれた Andes 山脈中の西山脈 (Cordillera Occidental) に配列し、Jura 紀の噴出岩とともに、新第三紀・第四紀の Andesite, Basalt などの噴出岩は、褶曲した中世代の地層を厚く蔽っている。また Fig. 4 にみられるように、貫入岩体はペルーからチリ南部にかけて、海岸線に添って並び、Cordillera de la Costa といわれる海拔 400 m 前後の低い海岸山脈を形成している。Andes 山脈はボリビア附近で、その幅が 800 km に達し、南下するほど幅員を減じ単一山脈となるが、その地質構造は Andes 山脈と海岸線の弯曲とともに、ほとんどそれと平行な構造をなしているようにみえる。このボリビアおよびペルー・チリ国境附近の弯曲点はとくに地殻物理学上興味深い地域で、Andes はその北部で弧状をなすが、その南部ではほとんど南北に直線的であり、その海岸線に平行な Atacama (アタカマ) 海溝はこのあたりで 8,000 m を越える。そして地震はこの地域にもっとも多発し、浅発地震から深さ 700 km までの深発地震が発生する。浅発地震と稍深発地震は、Andes 東縁の Cordillera Oriental の西に、かなり入り交って発生しているが、単純化すれば Fig. 3 左上図に示したように、帯状となって海岸付近に浅発地震、Andes の下では稍深発地震が多く、Andes のすぐ東、深さ 350 ~ 500 km に相当するところに発生する地震は少なく (Fig. 6 参照)、さらに内陸部に入ると 550 km から 700 km の深発地震がかなり発生して、その地震発生面は約 30° の Dip で太平洋側から内陸に傾いていることになる。重力異常は大陸の周縁部でほとんど零に近く、チリ北部の Andes 下部で -400 mgal に近いが、南にいくほど負の異常は小さくなる。Lomnitz¹⁵⁾ の計算では中央 Andes の下は Crust の厚さが 70 km におよび、南緯 30° まで徐々に浅くなり、それより南ではほぼ 40 km の深さであるという。なお東西の断面をみると、安定地塊の下は一様に 40 km より浅いようである。いづれにしても、中央 Andes の Crust は異常に厚く、地震その他の現象からみても、この辺りに何か力の集中するものを感じさせられる。海洋の重力異常は太平洋沿岸沖数 100 km のところで +300 mgal になるが、ペルー北部からチリ中南部にかけて等異常線はほとんど海岸線に平行である。以上簡単に述べた構造地形や、地殻内部に起因する諸現象から考えても、南米太平洋岸の地体構造は、海岸線に直角な何らかの力が働いて形成されたと考えてよいであろうし、現在のこの附近に発生する地震の発震機構からも、主圧力の水平成分はほとんどこの海岸線に直角であるらしいということから推定しても、この力が現在も働らき続けていると考えてもよいと思われる。なお海洋潮汐の負荷による地殻の傾斜や伸縮運動の振幅の変化と、その海域の浅発地震活動の関係も、地殻物性の変化が地震活動に関係しておこっているとすれば興味ある問題であり、観測所を海岸から種々の距離に配分することも考慮の対象とした。以上を総合すれば、海岸線を観測所配置の一つの基本軸と考えるのはきわめて当然のことと思われる。さらに小規模な軸については、各地域ごとに考えることにする。

これらの観測所の配置とそれぞれの条件が、もっとも有効でかつ適切であったかどうかは、結局は、計器を設置して観測を行なってみないとわからないし、それを確かめること自体が、一つの目的なのであるが、あらかじめ予想されることは十分に考慮して、つぎに示すような各地域の観測所配置を決定した。(Table 2 参照)

Ica 地域

この地域は、ペルーの海岸線が西北西—東南東方向から北西—南東方向へ転向するあたりにある。観測所の配置を決定するにさいして、過去50年間に発生した地震の震央分布図 (Fig. 5 参照) と地質図⁹⁾、地形図などを基礎にした。この地域は、歴史上にも、大地震がかなり多く発生している地域であって、それらの震央をつなぐと、海岸線に平行な数本の帯となる。この帯を、ペルー地球物理研究所では、破碎帯 (Zonas de fractura) と名づけている¹⁶⁾。この破碎帯は、現在のところ、地質断層と一致していることは確認されていないが、附近を走る多くの断層線の方向と一致している。他に確定的な資料もないので、観測所は、この破碎帯をまたいで分布させることにした。中央地帯を基準とするため、北と南の2カ所でおさえ、その両側の地帯には、これと比較するため各々に1カ所を配分した。同時に海岸からの距離も考慮に入れた (Fig. 7 参照)。

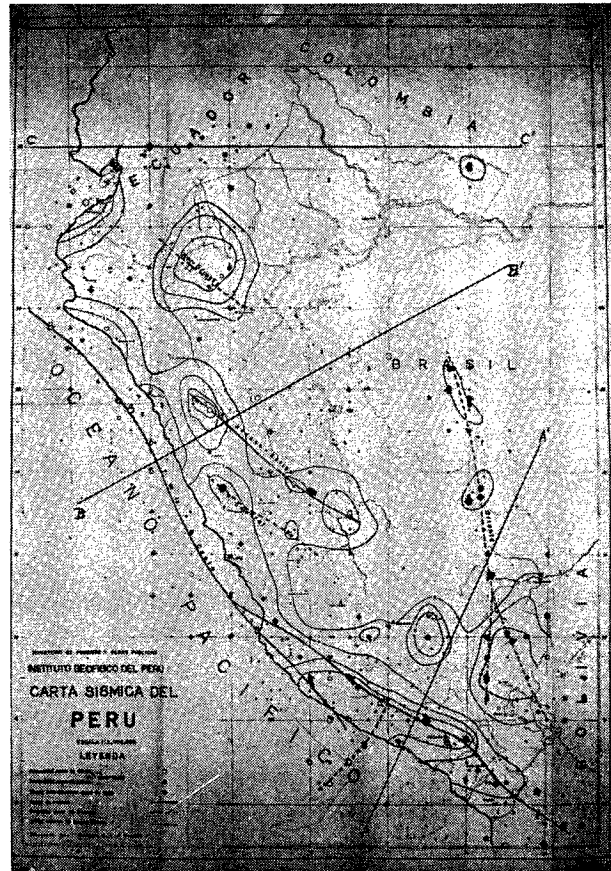


Fig. 5 Seismic chart of Peru

— : fracture zone
 : probable zone of fracture
 — contour : exterior limit of seismic region
 ○ : epicenters { 1913—1963 { depth < 60 km
 ● : { depth > 60 km
 ⊕ : destructive earthquakes before 1913
 (prepared by D. Huaco O. and J. Castillo V., Instituto Geofísico del Perú)

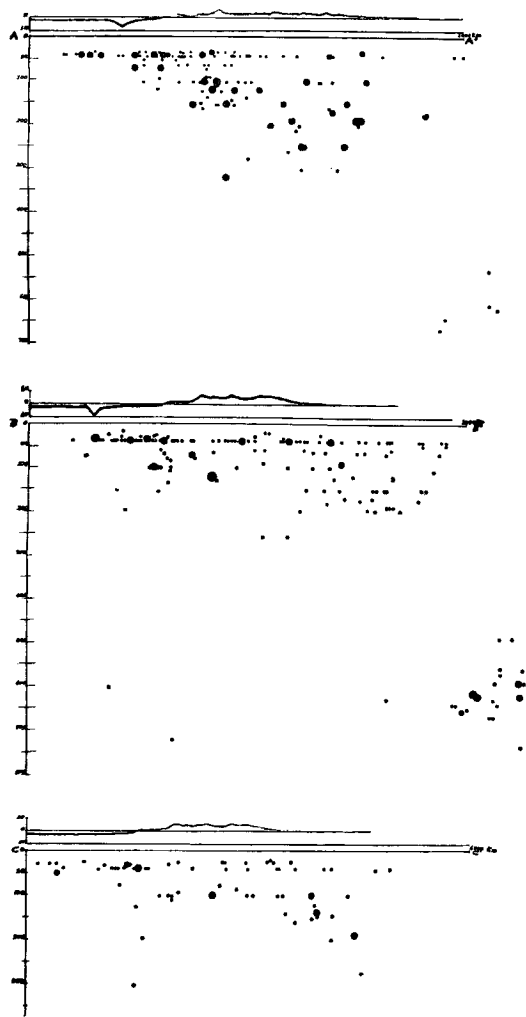


Fig. 6 Profiles of the same to Fig. 8 (see Fig. 8 for the location of projecting plane)

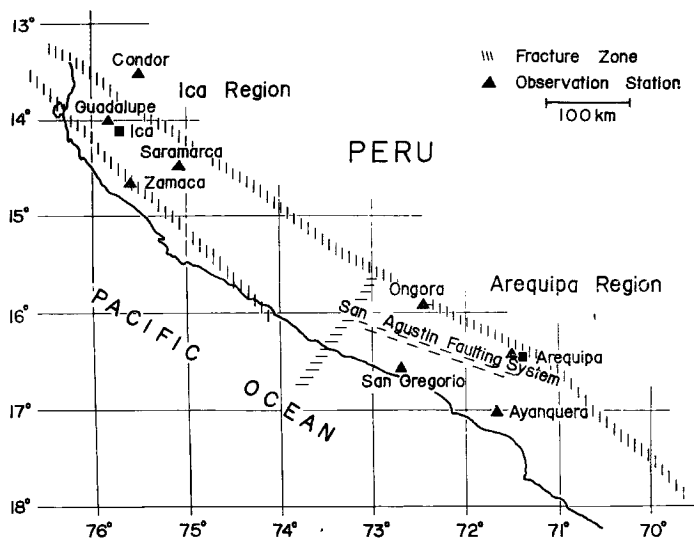


Fig. 7 Location of the observation stations for crustal movements and fracture zones in Peru

Arequipa 地域

サン・アグスチン大学地球物理研究所は、Carnegie 研究所から委託された地震計を数カ所に設置し観測を行なっている。その結果によると、Arequipa の西方、海岸線から約 50 km の地帯に、小地震が月に30個ほど頻発し、その発生場所は、海岸線に平行な鉛直面内であり、深さは 300 km におよぶと想像されている (Fig. 8 参照)。

これを San Agustin 断層系¹⁷と称しているが、現在のところ、その位置に地質断層があるということは確認されていない。しかし、Rodriguez 所長は、この地震活動と断層系の両側での地殻運動の関係を調べることに非常な意欲をもっており、この断層系をはさんで配置された地震観測室のすぐそばに、地殻変動観測所を設けることを希望した。これは、地震観測の結果を直ちに利用できるのと、現地における地震計の記録代替者が、同時に、地殻変動観測の地方観測者を兼ねることができ、観測の維持にきわめて好都合である。しかも、

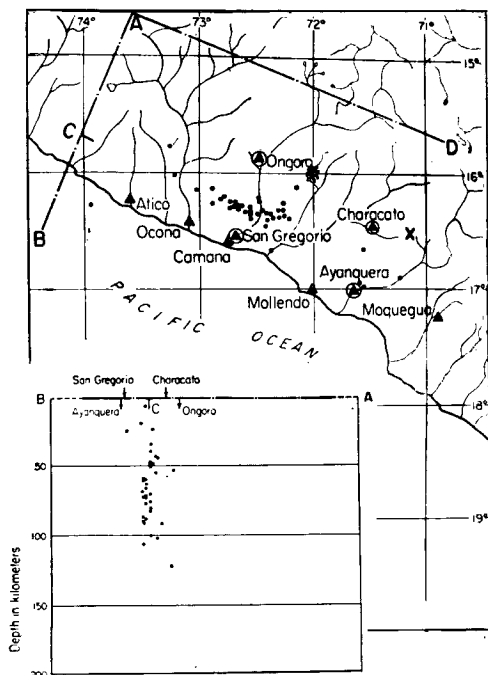


Fig. 8 The San Agustin fault zone revealed by the locations of epicenters (dots) which determined from the four seismograph stations in Arequipa Region
 ×, ▲ : epicenter of destructive earthquake, seismograph station
 Lower : vertical cross section (AB) across the fault zone showing distribution of hypocenters

(after A. Rodriguez B. et al.)¹⁷⁾

この配置は単に、San Agustin 断層系を対象とするための配置として意味があるだけではなく、この地域の構造線がすべてこの断層と同じ方向で海岸線に平行であるから、断層の両側に、海岸線に長辺が平行になるような長方形の頂点に観測器械を配置するのは、有効な方法であり、全面的に、この構想を支持することになった。

Santiago 地域

チリは、地形その他の自然条件が、ペルーよりも一層単調であるから、考慮しなければならない問題は比較的少ない。一般にチリでは国内を、地形構造から、北辺チリ (Norte Grande)、北部チリ (Norte Chico)、中部チリ (Chile Central)、南部チリ (Sur de Chile)、南辺チリあるいはパタゴニア (Chile Austral, Patagonia) の5つの区域に分けるのが普通である。これに対し、Gajardo と Lomnitz は、坪井の地震区¹⁸⁾にならってチリを4つの地震区にわけている¹⁵⁾ (Fig. 9 参照)。そのさい使用された地震資料は16年間

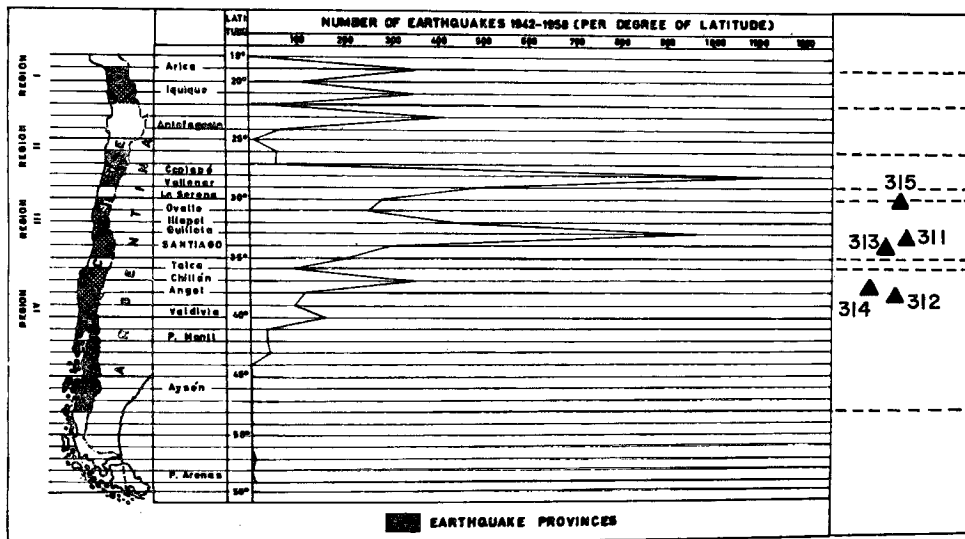


Fig. 9 Tectonic regions of Chile, from a time correlation study of seismic activity during a 16-year period, by degrees of latitude (after Gajardo and Lomnitz, 1960), and the location of the observation stations for crustal movements in contrast with the tectonic regions

のものであるから、これがチリの地震区として決定的なものかどうかかわからないが、その結果は、地形学的な区分とかなりよく一致する。ただ、北部チリと中部チリの境界線が一致しないが、これに対し Lomnitz らはこの両地震区の相関関係は他の場合よりも小さく、さらに、地形区分上の中部チリ地方の地体構造は、転移的なものであって、地震活動域もより小さな局所的な単位で定義しなければいけないだろうといっている。それはとにかくとしてこの地震区に対する地殻変動観測所の配置は、Santiago 南西の海岸山脈中の Rapel と、南東の、Andes 山脈中の Queltehues で一つの対をなし、今一つ北の Tololo と共に、中部チリ地震区を適当におさえていることになり、また、南部の海岸に近い Concepción と、その東、Andes 山中の Polcura で一つの対をなし、南部チリ地震区の北端に配分されて、結局、チリの主要部で、南北 800 km にわたって地震活動を監視している形となった (Fig. 10 参照)。日本のような地体構造の複雑な地域では、400 km も離れていると地殻変動の間にほとんど直接的な関連がないと考えられるが、構造の大きな Chile では果してどうであろうか、興味ある問題である。将来は、これらを拠点として観測網を密にするには好ましい配置と考えられる。

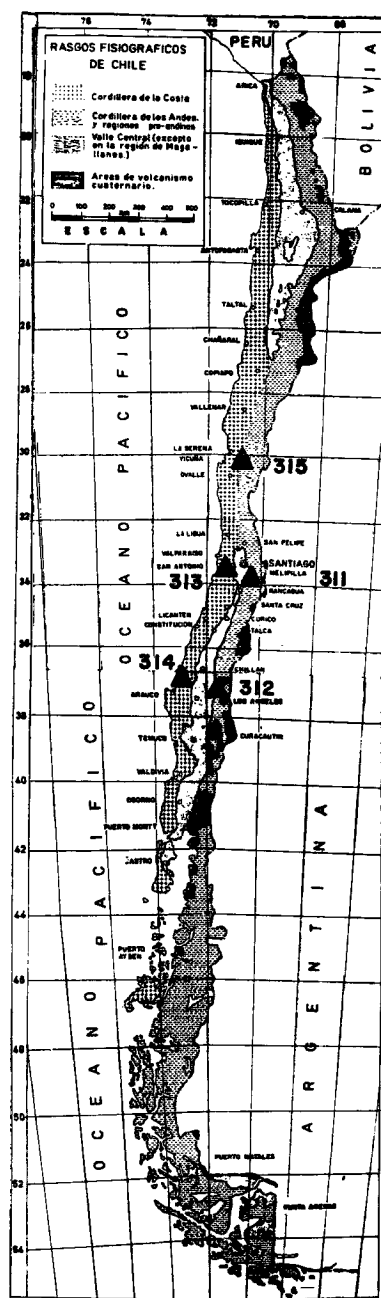


Fig. 10 Physiographical features of Chile¹⁹⁾ and location of observation stations for crustal movements

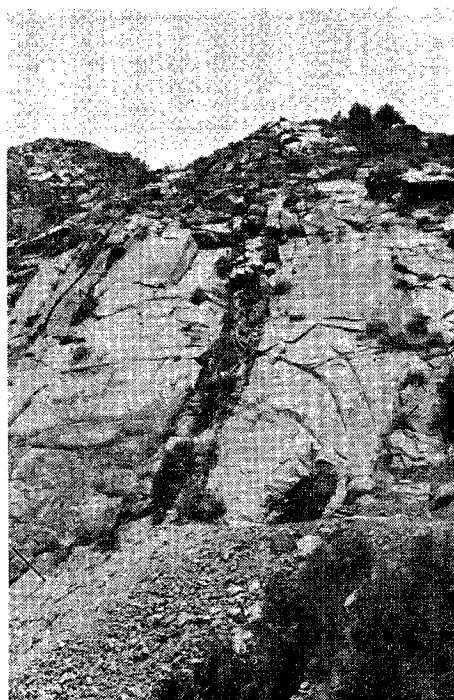


Photo. 1 The exterior views of observation stations

Upper left : Sarmarica, Ica region, Peru

Upper right : Queltehues, Santiago region, Chile

Lower : Ayanquera, Arequipa region, Peru

Table 2 Observation stations

	Code	Observation station	Longitude W° ' "	Latitude S° ' "	Height m	Dist. from coast km	Geomag. decli. E° ' "
PERU	<u>Ica region</u>						
	211	Condor	75 32 00	13 32 55	1550	90	4 12 26
	212	Guadalupe	75 47 30	14 00 15	550	45	4 42 56
	213	Saramarça	75 06 00	14 30 20	840	70	5 17.2
	214	Zamaca	75 36 45	14 40 20	300	10	4 52 02
	<u>Arequipa region</u>						
	221	Arequipa	71 33 43	16 26 34	2300	80	3 50
	222	Ayanquera	71 40 19	17 00 47	250	25	4 05
	223	Ongoro	72 28 30	15 53 57	900	85	4 30
	224	San Gregorio	72 42 45	16 33 52	140	10	4 45
CHILE	<u>Santiago region</u>						
	311	Queltehues	70 13.6	33 49.0	1800	130	9 15
	312	Polcura	71 30.7	37 18.3	758	150	11 30
	313	Rapel	71 45.2	33 57.4	95	12	10 25
	314	Concepción	73 02.7	36 49.0	10	10	12 20
	315	Tololo	70 48.9	30 11.8	1400	55	7 50

4. 観測所—観測用横坑の構造と設備

観測所の配置は以上のように決定したが、高感度の観測器械による長期観測がどのような条件の場所でもできるわけではない。地殻変動の連続観測では、観測の良否は、器械設置場所の条件に支配されることが多い。つまり、地表面では、日射変化、温度変化、気圧変化などのために、たとえば、傾斜の日変化の振幅は10'以上に達するであろうし、降雨による地面の傾斜はとも水平振子型傾斜計では記録できないほど大きく、観測の目的とする地殻変動の量を、はるかに上まわる。それを避けるために、観測器械は地下の坑道内に設置するのが普通である。日本のように、四季の変化が大きく、降雨量の多いところでは、地表面下50 m以深に器械を設置しなければ、気象的な諸要素の変化の影響をまぬがれることはできない。しかし、一方、観測坑が深ければ深いほど良いというわけでもない。地下深部では、大きな岩圧のために、坑道の変形が著しく、そのため器械の感度を必要程度まで高めることが不可能になるからである。日本では、従来の経験から地表面下50 mから200 mくらいまでが最適と考えられている。

また、単に、気象の諸要素に左右されるばかりでなく、地形や地質の局部構造に影響されることも少なくない。断層地帯あるいは破碎地帯では、地域的特性が大きであろうし、観測の精度によっては局所的な変化しか記録されない可能性もある。岩盤はできるだけ強固で、断層地帯から適当にはなれていることが必要な場合があるし、山全体の変形を考えれば、坑道は山腹よりも山麓に掘さくされるべきであろう。とりわ

for crustal movements

Type of rock	Interior condition of tunnel					Commencement of observation
	Depth m	Length m	Power supply	Temp. °C	Humid. %	
Basaltic andesite	60	50	AC 220V 60 c/s	24		Oct. 16, 1965
Granodiorite	20	38	Battery	26	97	Oct. 22, 1965
Gneissose granite	60	64	"	24	56	Oct. 28, 1965
Granodiorite	20	34	"	25	57	Dec. 4, 1965
Meta-gabbro	20	21	Battery	21	55	Nov. 8, 1965
Granodiorite	22	21	"	24	45	Nov. 12, 1965
Granite-porphry	25	23	"	23	64	Nov. 23, 1965
Hornfels, Granite	20	21	"	22	78	Nov. 18, 1965
Pyroxen-biotite-hornblend diorite	35	37	AC 220V 50 c/s		65	Dec. 18, 1965
Biotite granite (Dacite)	100	220	"		100	Jan. 9, 1966
Lamprophyre, Granite	10	43	"			Jan. 18, 1966
Biotite granite	80		"			
Dacite welded tuff			"			

け、伸縮計などは平均海水面下に設置するのが望ましいと考えられるのであるが、そのような条件にかなうような横坑を得ることは、実際問題としては、ほとんど不可能に近い。

選定に先だて、日本側から観測用横坑の設計図を送附し、つぎのような観測室の条件を示した。

1. 坑道は強固な岩盤のあるところに掘さくする。
2. 観測室は地表面下 50 m ぐらゐに位置するような地形を選ぶ。
3. すでにある鉱山の廃坑など、掘さく後、なるべく月日を経たものが望ましい。
4. 可能なかぎり電源の設備ができ、記録取替え器械調整などの往復に便利であること。

現地機関は、観測所配置予定区域の中でこの条件にかなう幾つかの候補地を挙げ、京都大学側では各種資料を参考して協議の上、最終的な掘さく位置を決定した。組織的な、観測の目的を十分考慮したこれらの観測所の配置と、器械の設置方向ひいては坑道の掘さく方向とは、大いに関係がある。すなわち、Ica 地域では、すでにのべたように、海岸線や構造線の方向が転向するところにあるため、各観測所の解析結果を比較しやすいように、傾斜計、伸縮計の観測方向は、すべて、南北、東西方向に統一され、5 m の伸縮計を直角に設置するため枝分かれした坑道は、南北、東西方向に掘さくされた。坑口の位置に制限があるため、坑道入口の方向が南北、あるいは東西にできないときは、坑道は、ある程度掘さく後に、南北および東西に方向を正して掘り進められた。Arequipa 地域では、観測計器は 4 カ所とも San Agustin 断層に平行な方向と垂直な方向に設置することとし、坑道はその方向に掘さくされた。この方向は、Ica 地域での設置方向と、

約 30° の差がある。チリでは、海岸線や構造線はほぼ南北に走っているの、すべての器械は南北と東西方向に統一された (Fig. 12 参照)。

電源設備のある観測所は、ペルーでは、Ica 地域の Condor 観測所ただ一つだけである。Arequipa 地域では、Arequipa 観測所に電源がひかれる予定であったが、観測器械設置の時には、まだ、設備されていなかった。チリでは、5カ所とも、220V の電源設備が準備される。

空気の流通を防止し、坑内の温度を一定に保つため、全観測所とも、三重の扉を設けることとし、器械設置用 Concrete 台は、傾斜計と気温気圧変化計用 120×60 cm, 磁気偏角変化計用 30×30 cm, 光学記録器と光源ランプ用 250×60 cm, それに伸縮計用 Bolt 付きの四基、高さはいずれも 20 cm 前後のものが、すべて送附した設計図どおり、坑内の岩盤に、十分密着固定された。これらの設備は Fig. 11 に図示した通りである。また Photo. 2 に観測室内部の 1 例を掲げる。

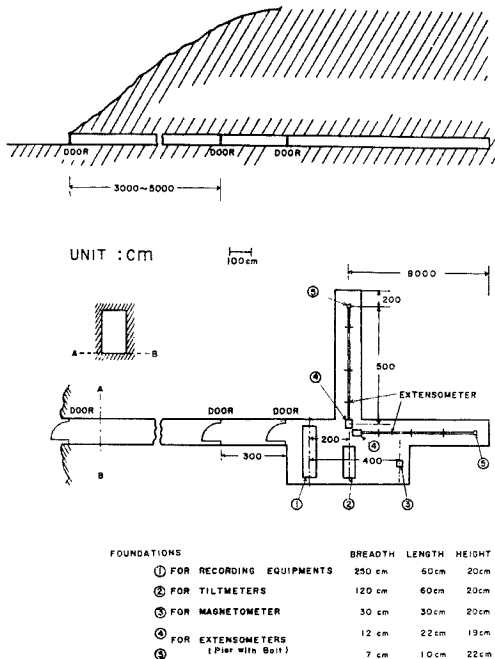


Fig. 11 Plan of observational tunnel

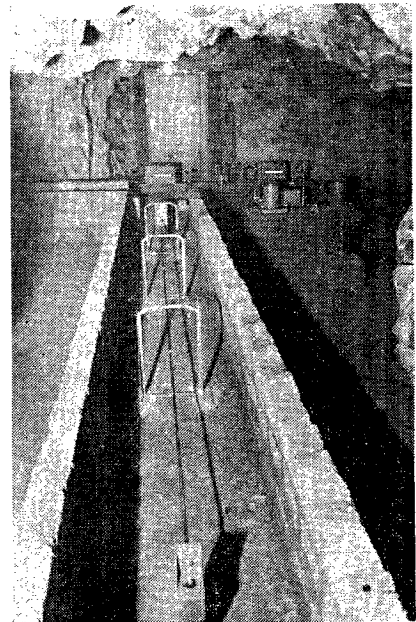


Photo. 2 An example of the interior of observation station (Condor, Ica region, Peru)

5. 観測器械の種類と性能

当然予想されるように、観測の対象とする地殻変動の変化量はきわめて微小な量で、傾斜角にして、年間の変化量が角度の秒以下であり、伸縮などひずみの量にして、 10^{-6} 以下のものである。この微小量の変化を検出するために、安定した状態で連続的に土地の傾斜・伸縮変化を記録させるには、記録紙上 1 mm の光点の動きが、土地の傾斜角にして、 $1/1000$ 秒 (100 km について高低差 0.5 mm 程度の傾き)、ひずみの量にして、 10^{-9} (100 km に対して 0.1 mm の伸縮) に相当する高感度の精密な器械を使用しなければならない。観測の性質上、とくに大切なことは、長期間にわたって観測器械の安定性が必要なことである。さらに、観測者の熟練のみに頼ることは、観測所の相互距離、交通の便、従事する人員とその交替を考えても、不適当と思われるので、取扱い操作の簡単なことも考慮しなければならない。同時に、国内とちがって、代替が容易でないから、観測器械そのものは、長期間の使用に耐え、多少の故障に対しては、現地で修

理ができ、電源のない場所でも使用が可能であり、維持費の少ないということなども、条件としていなければならない。以上を総合的に考慮し、高感度でしかも安定した状態で連続記録させるという元来は背反する2つの条件にもっともかなうものとして、傾斜計としては、Super-invar 製水平振り子型傾斜計を、伸縮計としては、Bow-string 型 Super-invar 棒伸縮計を使用することにし、器械本体だけでなく、これに併置する気温気圧変化計、ならびに記録装置、光源 lamp などすべてのものについて、これらの条件を考慮し、取扱いが簡便なように根本的に改良設計を行なった。

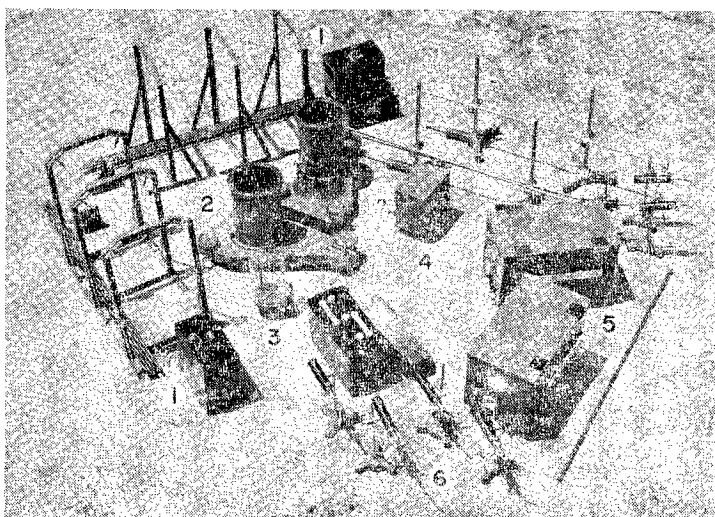


Photo. 3 A set of observational instruments for one station

- 1 : extensometers of bow-string type
- 2 : tiltmeters of horizontal pendulum type
- 3 : variometer of geomagnetic declination
- 4 : variometer of temperature and pressure
- 5 : photographic recorders
- 6 : lamps for light source

各観測所に設置した観測器械の種類や数量はまったく同じであるが、交流電源の設備のあるところだけは、240V—4, 6, 8V の変圧器を準備した。電源設備のないところは現地側が、6V・60Ah~120Ah の蓄電池を準備した。

1組、すなわち、1観測所用の観測器械は、つぎのとおりである。（Photo. 3 参照）

- | | |
|--------------------|-----|
| 1. Bow-string 型伸縮計 | 2成分 |
| 2. 水平振り子型傾斜計 | 2成分 |
| 3. 磁気偏角変化計 | 1台 |
| 4. 気温気圧変化計 | 1台 |
| 5. 光学記録器 | 2台 |
| 6. 光源 lamp | 8台 |
| 7. 附属品 | 1式 |

（1）傾 斜 計

Super-invar 製、Zöllner 吊、oil damper 付水平振り子型傾斜変化計。光学距離 2m、周期50秒として、記録紙上 1mm の光点の動きが、土地の傾斜量にして $5/1000''$ に相当する高感度である。微動装置の1回転で器械台に $1''$ の傾斜を与え感度を検定できる。

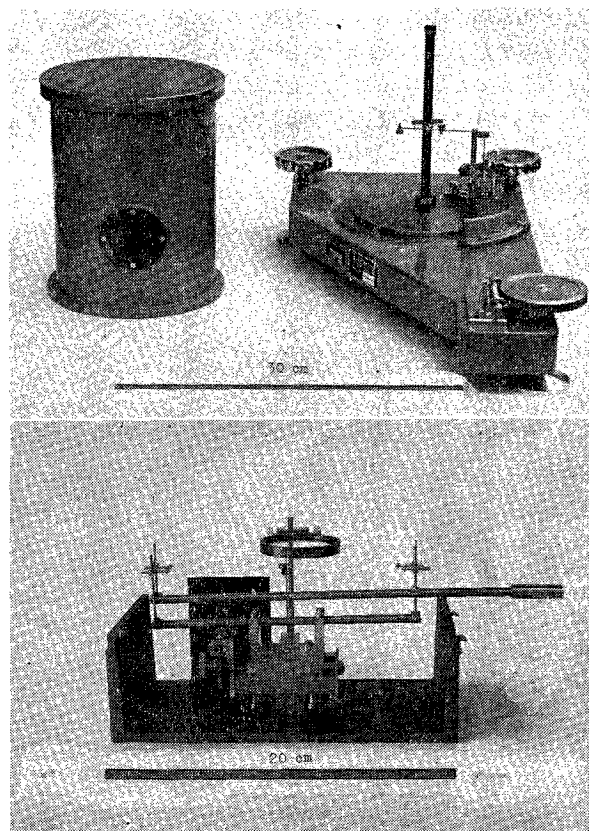


Photo. 4 Upper : tiltmeter of horizontal pendulum type (DEC-A)
Lower : magnifier of extensometer (bow-string type)

(2) 伸 縮 計

Bow-string 型, Super-invar 棒伸縮計。基線長 5m。光学距離 2m として, 記録紙上 1mm の光点の動きが, ひずみにして 5×10^{-9} 程度。微動装置の 1 回転が 1/200mm の基点移動を与える (基線長 5m の場合, 10^{-6} のひずみに相当する)。3 成分の伸縮計を 3 方向に設置することによって, 土地の水平面内の最大ひずみの軸方向と量を知ることができる。しかし, 残念ながら, 3 成分を設置するための坑道の掘さく費や器械の製作費の関係で, 2 成分しか設置できなかった。これは, 今後に残された問題点の一つである。

(3) 気温気圧変化計

横坑内の気温や気圧の変化が, 観測器械や器械台に影響をおよぼす場合があるので, 気温や気圧の変化を同時に測定することは, 観測上の常識である。Bimetal を用いた温度変化計と, Bellow pipe を用いた気圧変化計は, いずれも光学記録式で一つの台にとりつけられている。感度は任意にかえられるが, 光学距離 2m で, 記録紙上 1mm の光点の動きが, 温度変化計では $5/1000^{\circ}\text{C}$ ぐらい, 気圧変化計では 5/10 mb ぐらいで使用する。いずれも, 傾斜計用あるいは伸縮計用の記録装置に, 同時に記録させる。その他, 基準線用の固定平凸レンズ鏡がついている。

(4) 磁気偏角変化計

光学距離 4m で, 記録紙上 1mm が, 磁気偏角変化量 $0.44'$ に相当する。magnet の moment of inertia は約 60 (c.g.s) である。

(5) 光学記録器

駆動装置は時計仕掛で2週間保つように設計されているが、記録用 drum は、1週間で1回転する（記録紙の取替えは原則として週1回行なわれる）。送り速度は、1時間 3mm、すなわち、周期10分程度のものまでは識別できる。記録紙幅は 20 cm である。光源 lamp の電源を、1時間1回、接続または断絶する装置がついていて、電源のある場合は、毎時2、3分間光源を切って、Time mark を入れる。蓄電池を使用する場合は、毎時2、3分間だけ、光源ランプを点灯させて、蓄電池の消耗を防ぐ。一つの観測所で、傾斜計用と、伸縮計用の2台を使用する。

(6) 光源用 lamp

6V—8W 球を使用する。前面に可動 Slit がついている。

(7) 附属品

附属品のうち変圧器は入力 240V、出力 0, 4, 6, 8V、容量 100W、ただし、チリの5観測所と、ペルーの2観測所（Arequipa は準備中）だけである。

以上で1組の総重量は約 180 kg となる。各観測所における器械の設置方向（前節参照）・感度などは Fig. 12 と Table 3 に示すとおりである。Fig. 12 には参考のためペルー、チリ両国の常時地震観測が行なわれている地点の分布の概略を示した。また Photo. 6 に観測室内部の器械配置状況を各地域から1例をあげて掲載した。

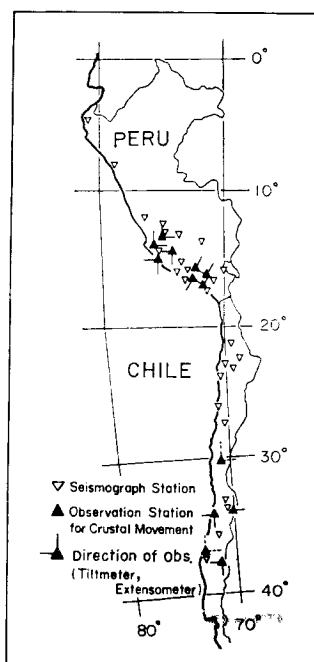


Fig. 12 Directions of the observations (▲) by means of tiltmeters and extensometers, and distribution of seismograph stations (▽) in Peru and Chile

Table 3 Observational instruments

Observation station	Code	Symbol of instrument E : extensometer T : tiltmeter	Direction of observation + ext., - contr. + down - (-down)	Length of base line (cm)	Optical dist. (cm)	Period of free osc. (sec)	Mean sensitivity (the first half of 1966)	
							(10^{-9} /mm)	($10^{-3''}$ /mm)
Condor	2111	EN	N - S	499.6	250	—	8.8	—
		EE	E - W	500.3	235	—	8.0	—
	2112	TN (A)	N - (S)	—	201	38.1	—	8.2
		TE (B)	E - (W)	—	201	31.5	—	12.2
Guadalupe	2121	EN	S - N	499.8	238	—	7.6	—
		EE	W - E	499.5	230	—	7.6	—
	2122	TN (A)	N - (S)	—	196	33.6	—	11.0
		TE (B)	E - (W)	—	200	30.1	—	13.6
Samarca	2131	EN	S - N	495.3	249	—	8.4	—
		EE	E - W	499.4	229	—	10.4	—
	2132	TS (A)	S - (N)	—	188	31.4	—	12.7
		TW (B)	W - (E)	—	188	34.0	—	10.6
Zamaca	2141	EN	N - S	500.5	237	—	6.7	—
		EE	E - W	500.4	219	—	6.1	—
	2142	TS (A)	S - (N)	—	200	36.4	—	9.1
		TW (B)	W - (E)	—	203	30.4	—	13.1
Arequipa	2211	ER	N26.5°E - S26.5°W	499.3	215	—	7.2	—
		EP	N63.5°W - S63.5°E	499.7	230	—	5.6	—
	2212	TR (B)	N26.5°E - (S26.5°W)	—	200	34.2	—	10.4
		TP (A)	N63.5°W - (S63.5°E)	—	199	30.2	—	13.6
Ayanquera	2221	ER	N23.5°E - S23.5°W	500.0	219	—	5.8	—
		EP	N66.5°W - S66.5°E	500.0	249	—	5.2	—
	2222	TR (B)	N23.5°E - (S23.5°W)	—	204	31.6	—	12.0
		TP (A)	N66.5°W - (S66.5°E)	—	200	34.9	—	9.9

Ongoro	2231	Er	N23.5°E — S23.5°W	500.1	235	—	5.2	—
	2232	Ep	N66.5°W — S66.5°E	499.4	221	—	5.1	—
		Tr (B)	N23.5°E — (S23.5°W)	—	199	30.7	—	13.1
		Tp (A)	N66.5°E — (S66.5°W)	—	199	35.8	—	9.5
San Gregorio	2241	Er	N26.5°E — S26.5°W	500.3	270	—	7.9	—
	2242	Ep	N63.5°W — S63.5°E	500.0	284	—	5.7	—
		Tr (B)	S26.5°W — (N26.5°E)	—	199	30.4	—	13.4
		Tp (A)	S63.5°E — (N63.5°W)	—	199	32.4	—	11.4
Queltehues	3111	En	N 3° E — S 3° W	500.0	236	—	5.7	—
	3112	Ee	S87° E — N87° W	500.5	205	—	6.5	—
		Tn (A)	N — (S)	—	202	25.0	—	19.9
		Te (B)	E — (W)	—	203	28.9	—	14.6
Polcura	3121	En	N10.5°W — S10.5°E	499.3	214	—	9.5	—
	3122	Ee	N73.5°E — S73.5°W	499.5	223	—	5.3	—
		Ts (A)	S — N	—	189	24.8	—	21.3
		Tw (B)	W — E	—	192	24.8	—	21.1
Rapel	3131	En	N — S	500		—	—	—
	3132	Ee	E — W	500		—	—	—
		Ts (A)	S — N	—				
		Tw (B)	W — E	—				
In common with each station		M	Varimeter of Geomag. decli.		380~415	3.6~4.4	0.4/mm	
		P	Varimeter of Pressure					
		T	Varimeter of Temperature		170~200		0.5 mb/mm 5×10 ⁻³ °C/mm	

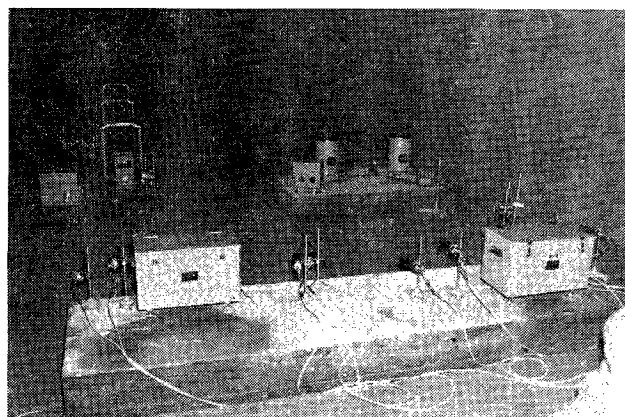
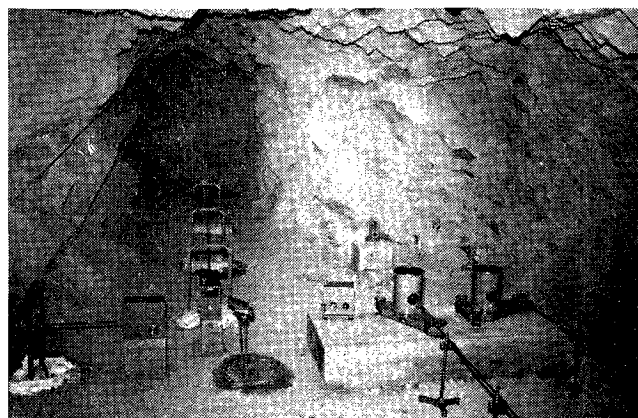
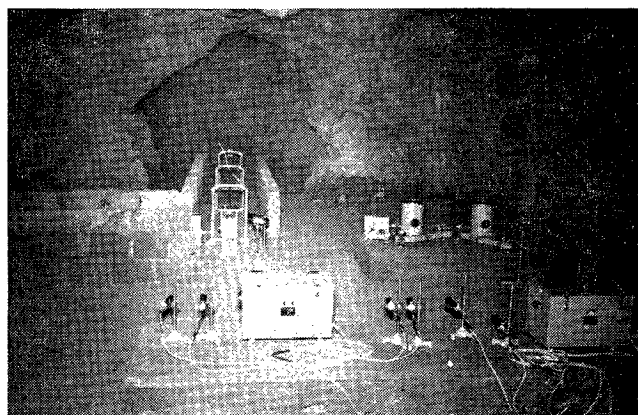


Photo. 5 Arrangement of instruments in observational room

Upper : Zamaca, Ica region, Peru

Middle : Ongoro, Arequipa region, Peru

Lower : Queltehués, Santiago region, Chile

6. 各観測所の環境と特性

Ica 地域

Condor (211)

Ica 市 (Lima 東南東 260 km) の北北東 55 km にあり, Andes 山脈と海岸山脈の中間砂漠地帯から Andes にかかる山峡の Pisco 川の峡谷にある。観測坑は銅鉱山 (Compañía Minera Condor) の鉱区内に新しく掘さくされた。採鉱現場は約 5 km はなれ, いずれも観測室より高い level にあり, 操業による影響は全くない。鉱山が自家発電を行っており, 電源設備が整えられた。傾斜計, 伸縮計ともにきわめて好調で, drift も少なく安定していて, 気象影響も皆無であり, 地球潮汐が見事に記録されている (Photo. 6 a, b 参照)。

Guadalupe (212)

Ica 市の北北東数 km にある。砂漠地帯に孤立した岩山 (Cerro Prieto) の中腹に掘さくされたためか, 記録では日変化が卓越し, 標準の三重扉の他に, さらに 50 cm の厚さの泥煉瓦 (Adobe) で壁を設けて空気の流通を遮断したが, なお日変化はきわめて大きい。これは山腹にあるため, 日射による山全体の Buckling であると考えられる。drift は小さく, 永年変化の解析には支障はないが, 微変動や地球潮汐の観測には不適である。附近には毎日12時間の電力供給があるので, 将来電源をひける可能性がある。坑道は, 35 m 掘さく後分岐坑道が東西と南北に向くよう正された変形型である。

Saramarca (213)

Ica 市の南東 90 km, Condor と同じく, Andes にかかる Viscas 峡谷にある。10数年前まで採鉱されていた旧金鉱山 (Mina Aurifera Saramarca) のほぼ南北方向の坑道 (#734, 全長 50 m) の最奥部を利用し, さらに東西方向の分岐を新しく掘さくして観測室とした。電源設備なし。坑内の状況は良好で日変化はほとんど認められない。伸縮計, 傾斜計ともに, 地球潮汐の振幅はかなり大きい, いまのところ伸縮計に多少の drift がある。

Zamaca (214)

Ica の南方 70 km, 海岸丘陵地にあるが, 附近は全く乾燥した砂漠地帯で, Ica 川 (尻無川, 1963年頃から Zamaca 附近では完全に干上っている) の小峡谷にある。このあたりから海岸まで続く変成岩帯の端にあたり, 古生層中への貫入により接触変成された地域である。傾斜計・伸縮計ともに, 地球潮汐は明瞭に記録され, 気象影響もなく, drift も小さく, 良好である。

Arequipa 地域

Arequipa (221)

Arequipa 市 (Ica 市の南東 500 km) 内より 12 km, いわゆる Andes の西山脈 (Cordillera Occidental) 中の活火山 Misti (ミスティ), Chachani (チャチャニー) のなだらかな山麓平地 (海拔 2300 m) にある比高約 30 m の丘陵の一つに掘さくされている。最初電源設備が施されるはずであったが, 経費の関係で取止めとなった。ただし近くまで電灯線が敷設されているので, 将来電源がひかれる可能性は大きい。坑内設備は完全で, 日変化も drift もなく, 最良の条件下にある。年間 250 mm 程度の雨量がある (Photo. 6 c, d 参照)。

Ayanquera (222)

Arequipa の南南西約 70km, 海岸山脈中の峡谷にあり, 砂漠に近い乾燥地帯である。坑内設備も良好, 気象変化も少ないが, しばらく低感度のまま観測が続けられた。すぐ近くに地震計が設置されている。

Ongoro (223)

Arequipa 市の西北西約 110 km, Majes (マヘス) 川の上流の峡谷にある。Andes の西山脈の麓に近い。坑内設備正常, 気象影響なし。drift も少ないが, 記録開始直後の人為的擾乱が長時間続いているのは, 地盤が柔らかいためよりも, local operator の不注意によるものらしい。

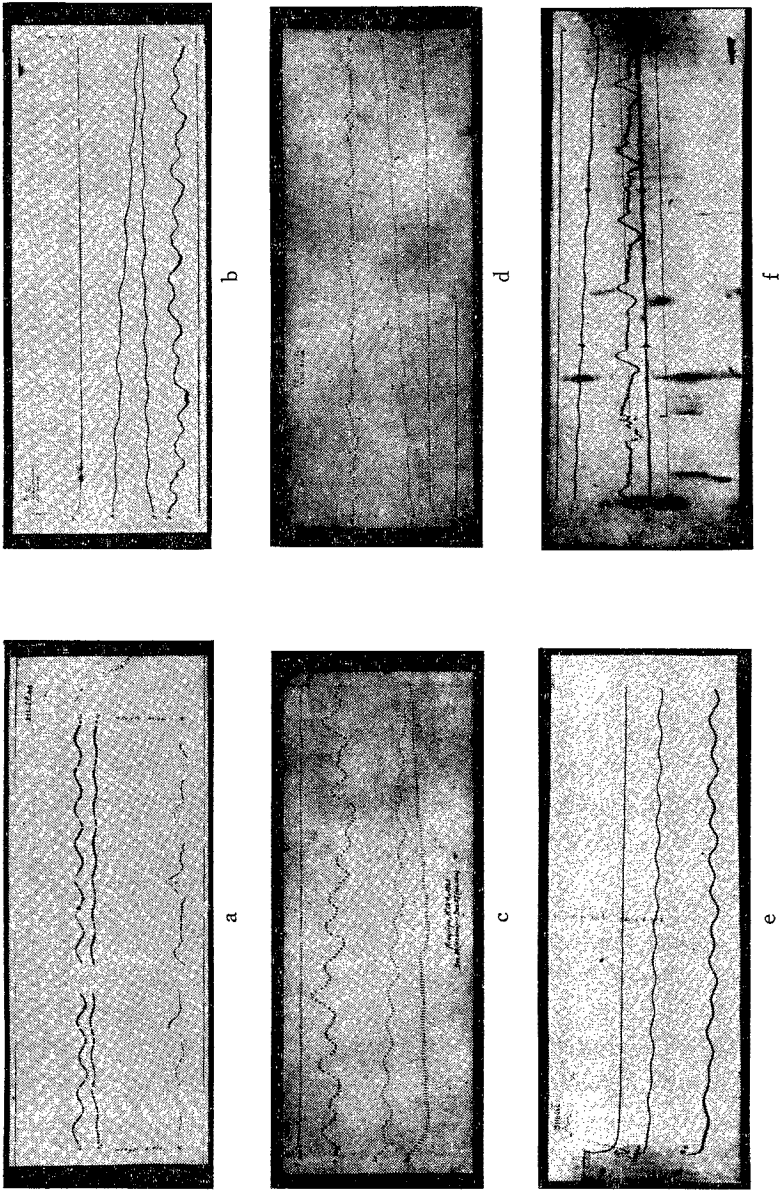


Photo. 6 Examples of records (ref. Table 3)

a. extensometers at Condor	(2111)
b. tiltmeters at Condor	(2112)
c. extensometers at Arequipa	(2211)
d. tiltmeters at Arequipa	(2212)
e. extensometers at Queltehues	(3111)
f. tiltmeters at Queltehues	(3112)

San Gregorio (224)

Arequipa の東方 120 km, 海岸山脈の太平洋斜面にある。坑道の形状は, Guadalupe の場合と同じく, 変形型で, 坑口の位置が限定されているため, 傾斜計設置場所までは標準型と同じであるが, 伸縮計の設置方向を N60°W およびそれと直角方向に正すために, 分枝は坑道の最奥部から斜に掘り進められている。この観測はすべての点で申し分がない。

Santiago 地域**Queltehues (311)**

Santiago の南東 60 km, Andes 山中の Maipo (マイボ) 峡谷の中腹部にあり, 電源設備その他一切の設備は完全である。この地域の降雨量は年間約 1000 mm 程度, 外気温の年較差は約 12°C で, 坑内は多少湿気があるが気象影響はない。傾斜計・伸縮計ともにきわめて好調であるが, 傾斜計はやや低感度のまま記録が続けられている (Photo. 6 e, f 参照)。

Polcura (312)

Santiago の南方 430 km, Antuco (アンツウコー) 火山に近く, Andes 山脈から中央平野に出る峡谷の中にあり, 横坑は Polcura 川の河岸に, 真直ぐ 200 m 掘られて, その最奥部に観測室がある。坑口から約 20 m までは Dacite であるが, 観測室あたりは Biotite Granite である。年間総雨量は 1500 mm を越えたと考えられ, 坑内はきわめて湿度が高く, 流水がある。坑が深いので気象変化の影響はない。器械の調子もよく, drift も少ないが, 観測状況は高湿度のためによくない。外気温の年較差は約 12°C。

Rapel (313)

Santiago の西 115 km, 海岸丘陵地を流れる Rapel 川に建設中の Arch Dam の下流右岸の岸壁にあり, 予想された通り, Dam の工築による変形が大きく, 現在計器の感度が高すぎるために, 観測を休止している。また, Dam 完成後も, その水位変化による影響が大きいと考えられ, 12 km 下流に移設を予定している。雨量は年間 1000 mm 程度, 外気温の年較差は 7°C 程度である。

Concepción (314)

Santiago の南南西約 425 km, Concepción 市の北東郊外にある。海岸平野中の丘陵の一つで, 海拔 100 m ほどの花崗岩の岩山の中心部に観測室ができる予定である。南にはほぼ NE-SW 方向の小断層線が走っている。この地域の年間降雨量約 1300 mm, 外気温年較差 9°C 程度である。

Tololo (315)

Santiago の北方 390 km にある。海岸線と Andes 分水嶺がもっとも接近し, 海岸山脈と Andes 山脈が接触したもっとも幅の狭い地域の中央にある。海拔 2000 m 程度の山の麓に観測用横坑が掘さくされる予定であるが, 頂上までの比高は 600 m, 雨量は年間 150 mm 程度, 外気温の年較差は 7~9°C 位である。しかし山岳地帯であるため, 坑道掘さく用の器械の搬入がむずかしく, この地点よりさらに北方 250 km の Copiapó (コピアボ) 市の南 2 km にある地震観測所附近に変更される可能性がある。

7. 共同観測の将来計画

共同観測の今後の問題点は, もちろんいかにして良好な観測を維持するかということにある。現在, 観測室の条件がきわめて良いにもかかわらず, 設置された器械がすべて満足な状態で働いているとはいえないが, これは現地 3 機関側の人手不足や不慣れによるものと, Test 不足のため器械の部品に不満足なものがあるためである。また Guadalupe, Rapel のように, 移設を必要とするところや, Concepción, Tololo のように, 横坑掘さく後の状況を調査していない場所もある。さらにもっとも重要な問題は経費の関係で伸縮計が 2 成分しか設置されていない事実である。これでは面積ひずみを求めることはできるが, もっとも必要な主歪力の方や量を知ることができない。伸縮計は少なくとも 3 成分を設置すべきであるし器械そのものも年々改良されるので, 坑の状況がよければよい程, 各種の新型の器械の設置が望まれるわけである。

現在の欠点を補ない, 故障を修復し, 必要器械を増設することは, 観測上の不可欠な問題で, 研究者の長

期派遣と、観測の維持と充実のため、共同観測経費の支出が望まれるわけである。

解析面についても同じことがいえる。地殻変動の研究はいうまでもなく、総合的な方法で行わなければならぬ研究の一つである。観測された記録に十分な解釈を与えるためには、地震・気象・海象に関する資料だけでなく、多くの他の観測資料や測量・構造地質学上の最新の成果を必要とする。また観測には常に予想できない各種の疑問が生ずるものであって、自然的なものにしろ、人為的なものにしろ、解析を行なう上で観測所の現地状況は常に念頭におかなくてはならない。一応観測状況報告は記録に添付されることになっているが、このような資料を入手し観測現地の状況を調査するにも、共同研究の場合はやはり観測現地でなければならないのは当然のことで、何人かが交代で長期間現地に滞在することが必要である。同時にできれば各地域に少なくとも一カ所の驗潮所が必要であるし、地域的な精密測量・光波距離測量など地震予知に必要な共同研究の内容を拡げて行くことも必要と考えられる。なおこの協定は京都大学側と先方の3機関の各々との間に結ばれたもので、ペルーとチリ両国間の共同観測や資料交換については、何らの取り決めもない。これはまず正さねばならぬ問題であると考えられる。

将来の計画として、現地に観測点の増設が望まれるのは当然のことであるが、とくに必要とされるのはペルー・チリ国境地域であって、すでに述べたように研究対象地域としてもっとも興味深い所であり、まずこの地域とボリビアに将来観測所を設置すべきである。そしてさらに、今回とり止めとなったメキシコは、北米と南米の両大陸をつなぐ地帯として複雑ではあるがやはり興味ある場所であり、次の機会にはぜひとり上げねばならないし、これに加えて、コロンビア、エクアドルなどは除くことのできない重要な地域である。このようにして全太平洋岸にわたって観測網を完成させるとともに、また安定陸塊でも観測が必要で、この意味でアルゼンチンなどはとくに設置が望まれるところである。

このような共同観測の態勢が確立すれば同じ環太平洋の中でも日本列島のような複雑な構造の島弧と、多くの類似性を有しながら地質構造上かなりな大構造を有する大陸周縁部との間で、地震の発生の仕方とそれに関係した地殻変動の様式にどれだけの類似性があり、どれだけの特異性があるのか、どの程度の地域が同じ地殻変動の様式を持つ区域なのか、またその様式は地質構造や他の地殻物理学上の諸現象とどれだけの関係があるのかという地殻物理学上の根本問題に解決の鍵を見出すことができるであろうし、一方地震に関係した地殻異常変動の普遍的な法則を確立することができれば、地震予知の実現は、それほど遠い夢ではなくなるであろう。このような汎世界的な問題は、多くの国のそれぞれの分野の専門家が、共同で研究し解決すべきことであるが、この計画もそのような方向に進めたいと考えている。

附記. 国際共同観測実施の経緯と観測開始までの過程

日本に地震予知計画研究グループが発足した1961年頃、故西村英一教授は、「地震に伴う地殻変動の国際共同観測(趣意書)」「(協同観測の方法、共同観測の目的と意義参照)」に示された遠大な構想の下に、地殻変動の国際共同観測の実施計画を練っておられた。すでに1961年夏にはチリ大学の Cinna Lomnitz (シンナ・ロムニッツ) 教授から、地殻変動と地球潮汐の観測を共同で行なうことに賛意を表明した書簡が届いている。1962年2月より3カ月間、南北米州各国への出張にさいし、西村教授は、この計画をもって渡航され、メキシコ、ペルー、チリ3カ国の関係機関の地震学者達、メキシコ国立大学地球物理学研究所 (Instituto de Geofísica, Universidad Nacional de México) Julián Adem (フリアン・アデム) 所長, José Merino y Coronado (ホセ・メリノ・イ・コロナド) 同地震学部門 (Servicio Sismológico) 主任, ペルー地球物理研究所 Giesecke 所長, サン・アグスチン大学地球物理研究所 Rodríguez 所長, チリ大学地球物理学・地震学研究所 (現地球物理学・測地学教室) Lomnitz 所長 (1964年7月転出) (以上 Table 1 参照) と話合っ

いて約束を交わされた。帰国後、健康のすぐれぬ中にも着々と計画を進められ、一方では国内の関係諸機関との話し合いをはじめ、他方では3カ国との間に実施に関する実際の交渉を行なっておられた。防災研究所地かく変動部門（当時部門主任教授一戸時雄）でも、この計画のため1962年6月直ちに全観測器械の改良設計に取りかかって、その年の12月に設計図ができあがった（担当津島吉男・田中豊）。翌1963年初頭より器械および附属品・材料などの試験試作、購入製造に当り（一戸・田中・津島・鈎卯三郎・松尾成光）、観測方式や設備など共同観測の実施方法の研究や準備が着々と進められた。一方現地側の3カ国は、地殻変動観測について全く未経験であったので、西村教授は観測の内容や設備の準備などについての度々の問合せに文書で指導され、また研究者を派遣した場合の滞在中の諸問題について連絡をされていた。この様な状態で、その初期には受入れ側の準備は中々軌道にのらなかったようであったし、京都大学側も器械製作の費用（1観測所当り70万円、16カ所分1,120万円）がなく、これを捻出するために必要物品の購入もあつまわしにすることを余儀なくされたこともあり、とくに、器械設置と観測技術指導のための派遣者の渡航費を得るために西村教授は終始たいへん苦勞をされていた。折からの学術会議で国際科学協力の推進についての勧告案が提出されて可決された機会に、和達国立防災科学技術センター所長を通じて、この計画に関する資料を学術会議第四部長に提出されている（1963年5月）。元来、健康のすぐれなかった西村教授は、遂に1963年夏に病が悪化し手術をされたが、秋には一時回復されてあらゆる方面に活躍をはじめられた。しかしその年の暮に再び病が悪化した。御病床にあった間は、岸本兆方（現地かく変動部門主任教授）が3カ国との連絡にあたった。この頃、この共同観測を中南米技術協力計画にのせることがもっとも手近な道であることが判り、1963年秋、この技術者派遣の要請について3カ国に示唆を与えられた。「ペルー・チリ両国政府も本計画の重要性に鑑み、また、その規模の大きさを考慮して、本件を日本の中南米技術協力計画のベースにのせて推進するのが最良の方策であるとして」〔海技協（海）第3-763号〕「地殻変動専門家3名、期間、チリ1カ月、ペルー2カ月」の派遣要請となったのである。この要請書を提出した旨、チリ大学の Lomnitz 所長から岸本に海外電報が届いたのが3月11日、また同じ頃昭和38年度内に完成予定の送付器械の第1次、11カ所分（当時メキシコを含めて16カ所分を準備の予定）が全部整ったので、西村教授が検査される予定であった。が突如3月17日に容態が悪化し、19日未明に不帰の客となられたのである。教授の東奔西走がやっと実を結び、まさに初期の困難な時期を脱し、先の見通しが明るくなった矢先であった。当時受入れ準備は、ペルー国 Arequipa 地域の4カ所のうち2カ所の観測用横坑が完成していた。

4月に入って一戸・岸本他京都大学在職中の門下生が相寄り、恩師の遺志をついでこの計画を実現させるべく協力することを申し合わせた。以後、責任者は一戸（当時地かく変動部門主任教授）、観測準備と現地側3カ国との連絡は田中、器械および携行物品に関しては引きつづき津島が担当して、再出発することとなった。折から外務省経済協力局技術協力課より、3カ国から「地震予知と地震災害予防の研究のための技術指導者派遣」の要請が届いた旨連絡があり、その計画内容とこの計画の推進者であった西村教授死去による状況変化について問合せがあった。丁度ペルーからも教授死去の報に接し、地球物理学教室主任あて今後の方針について連絡があったが、一戸・岸本・田中は協議の上、「要請された1964年10月の渡航は不可能であるとしても、必ずこの計画を実現させる」旨一戸から回答した。同局は、5月在チリ、ペルーの大使館を通じて、先方機関にその旨伝達したところ、7月には両国から「準備がまだ予備的段階にあり、専門家の両国訪問が当初の予定より遅れても何等支障ない」との回答がなされた。なおメキシコ側は8月初にいたって要請を取消す旨の連絡があった。これはメキシコ大学が観測用横坑掘さく経費を入手できなかったためであることが判明した。それに先立って6月末、同局技術協力課において海外技術協力事業団海外事業部派遣課と京都大学側（一戸・田中）の3者が派遣人員、期間、時期などに関し検討した結果、昭和39年度末に2人4カ月渡航の可能性が認められた。その決定は10月末まで持越されたが、本件の処理は1964年7月初旬、中南米技術協力計画の一部として、外務省経済協力局より海外技術協力事業団の手に移されることになった。8月には、同事業団と再協議の結果、渡航は万全を期して40年度に延期、観測器械は派遣専門家の携行品として事業団が別送する意向を内諾され、3名4カ月の旅行計画案を地かく変動部門（田中）から提出した。

一方現地側機関に対しては、同じ8月、大阪大学川井直人教授、福井大学安川克己講師が日米科学協力計画により、南米各国に出張されたさい、当方の依頼により、チリ大学およびペルー地球物理研究所を訪問して、口頭をもってこの計画の実施を確約し、受入れ準備を継続するよう伝えるとともに、坑内設備に関する詳細について説明をして頂いた。当時チリ大学地球物理学・地震学研究所長 Lomnitz 教授は、すでに California 大学に去っており、Enrique Gajardo (エンリケ・ガハルド) 現副所長が所長を代行していた。その後10月には Kausel 現所長が就任した。

さて、ペルーでは、ペルー地球物理研究所の所属する公共事業開発省がこの計画を支持したため、すでに1963年の経費でサン・アングスチン大学担当分の Arequipa 地域の2カ所は完成し、西村教授逝去の報で、一時掘さくをひかえていたが、1964年11月中には全4カ所が完成する旨連絡があり、同年11月からは、ペルー地球物理研究所担当分の観測所の配置について文書でもって協議した。先方から送付された地質図、震央分布図を検討した結果、ペルー地球物理研究所担当の Ica 地域は、その地震構造線上的見地から、3カ所を4カ所にすることが、観測結果の利用の場合に数倍の効果のあることに意見が一致し、これに基づいて、1965年1月地球物理研究所から予定の3カ所を4カ所にすることを正式に要請してきた。これが認められて、共同観測のための観測所は最初の16カ所のうちメキシコの4カ所が取止めとなり、ペルーに1カ所追加されて、最終的には13カ所となった。かくてペルー地球物理研究所担当の Ica 地域の横坑掘さく位置は度々の文書による打合せの結果、1965年3月にやっと全4カ所が最終的に決定したわけで、ペルー政府の予算で1965年1月から掘さくをはじめ、出張者の Lima 到着時には最後に決定した1カ所 (Zamaca) をのぞいて3カ所が完成しており、Zamaca は出張者の滞在中の11月末に完成した。この間の交渉に関しては、ペルー地球物理研究所 {在 Huancayo (ワンカイヨ) 研究所} の石塚隆・太陽部長から数々の援助を頂いた。

他方、チリ側は、Lomnitz 前所長も観測用横坑掘さくの資金調達に苦労したようであるが、そのあとをうけた Kausel 新所長も、あらゆる関係機関に掘さく費の支出を要請したにもかかわらず、当時のチリ国内の社会的政治的諸事情がすべて逆の方向に働いて容易に経費を獲得することが出来なかった。しかし、Kausel 所長の奔走努力の結果、予定よりもはるかに遅れはしたが、結局配電公社、電源開発、鉱山開発事業団のような国営の機関に横坑掘さくを依頼できることになった。それでもなお、Andes の雪のため工事が遅れたり、依頼先の機関の都合で予定地が変更になったりして、中々順調に工事がはかどらず、京都大学側からも、協定書交換以前のことで、工事の促進について公式な文書も出せないままに、完成の遅れるにまかせることになった。この間に当時チリ大学地質学研究所にあった北海道大学勝井義雄助教授は、Kausel 所長や、地球物理学・測地学教室が所属する物理学・数学部学部長、あるいは日本大使館の間を何度もなく交渉や連絡に赴かれ、Kausel 所長を激励援助してくださった。

なお、ペルーでは石塚太陽部長、チリでは勝井助教授は坑内観測設備の詳細に対し、現地の事情を考慮して当方の連絡漏れの点などについて常に中間に立って御基力頂いた。1965年4、5月に、Carnegie 研究所 (Carnegie Institution of Washington) から南米の地震観測に関する用件で派遣されて、ペルー・チリを訪問中の故神月彰関西大学助教授 (西村教授門下生) は、ペルー Arequipa 地域の完成横坑や Ica 地域の掘さく予定地を調査し、その状況を知らせて下さった。

1964年12月初旬、事業団の要請により、防災研究所からこの計画の詳細につき最終的な説明を行ない3名4カ月の渡航が必要であるとの意見を改めて伝えたが、派遣はいよいよ具体化することになった。このようにして、海外技術協力事業団は12月22日付文書をもって、「中南米技術協力計画による、地殻変動専門家のチリ・ペルー国派遣」について文部省調査局長に派遣の可否を問い、合わせて人選を依頼し、同時に京都大学所属の国有財産である観測器械を派遣技術者の必要携行器械として国外に持出の配慮を要請したのである。また、京都大学側は共同観測の目的のため別途に12月下旬、藤井権防災研究所事務長が文部省・大蔵省に対し、観測器械をペルー・チリ両国の3機関へ寄託する手続きをはじめたのである。翌1965年3月、文部省よりさらに京都大学に人選依頼の文書が届き、3月下旬に中川一郎、津島、田中の3名が派遣技術者として推薦されたわけである。また、同じ頃、寄託観測器械もペルー1カ所の追加分を含めて13観測所用の全観測器

械の国外持出しが文部省・大蔵省から認められることになった。

4月以降、渡航と器械送付に関する業務を中川が担当し、田中・津島は寄託器械、附属品、携行機材の最終的準備にとりかかった。5月には正式に、中南米技術協力計画により、地殻変動観測と技術指導のため、中川・津島・田中3名が1965年10月10日から1966年1月18日までの101日間、ペルー・チリ両国に派遣されることに決定した。

また、共同観測に関しては、派遣国において観測器械の設置終了と同時に、地域ごとに観測器械は京都大学からペルー・チリ国3機関に寄託され、京都大学と先方3機関との共同観測に入ることに相談がまとまった。そのため、あらかじめ京都大学と当該3機関との間に結ぶ協定書の構想を捻っていたが、一戸・岸本・中川・田中および藤井事務長が必要事項を検討し、協定書の原案を作成し、正本となる英文はこれを中川が担当した。一方、滞在期間は約3カ月に決定したので、技術指導期間の不足を補うため観測器械の説明・取扱方法など観測要領を英文で一冊の Pamphlet にまとめることにし、中川、田中、加藤正明がこれに当たった。6月末には、京都大学側の一切の準備が成り、観測器械、附属品、その他必要携行品は、7月14日京都大学から搬出され、派遣専門家携行器材として神戸港から船積みされた。なお観測器械購入・製作費は計画当初よりの西村英一教授以下の努力にもかかわらず、ついに特別な経費は支出されず、観測器械、携行器材、第1年度分消耗品類など、総計1200万円に及ぶ費用一切は、数年間にわたって経常教官研究費から支出された。

このようにしてペルー側からの準備9割完了との連絡と、「出張者の12月中旬 Santiago 到着時には、全観測所の準備は成っているはずである」とのチリ側の確約を得、また観測器械も Lima の外港 Callao（カリヤオ）と Santiago の外港 Valparaiso（ヴァルパライソ）に陸揚げされ、各研究所・大学に保管された旨の連絡を得て、出張者3名は10月10日羽田を出発、11日に Lima に到着し、翌日から Ica 地域の観測器械設置と観測技術の指導に当り、10月末日までに Condor, Guadalupe, Saramarca の3観測所で観測を開始、11月2日には Arequipa 市に到着、11月26日までに Arequipa, Ayanquera, San Gregorio, Ongoro の4観測所に観測器械を設置し、また、12月初めには、Ica 地域の残り1カ所 Zamaca の観測を開始した。このようにしてペルー現地での技術指導期間終了と共に、予定通り、ペルー8カ所の全観測所で共同観測を開始する運びとなった。共同観測に関する協定書は10月12日付でペルー地球物理研究所で、11月2日付でアン・アグスチン大学で署名されて協定が成立したのである。ついで12月11日に出張者3名は、Santiago に到着、当時観測用横坑は、Queltehues 1カ所しか完成していなかったが、19日までに Queltehues に観測器械を設置、12月下旬、Polcura 観測所が完成とのことで現地に赴いたが、器械台が工事施行者の手ぬぎのため不備で、翌年1966年1月7日に改めて設置しなおし、9日から観測を開始した。1月初旬、Rapel 観測所の坑道はすでに完成していたが、器械台は作成中で、チリでの派遣期間が終了し、離国の頃やっと完成、直ちにチリ大学側自身の手で観測器械を設置、1月18日から観測を開始した。残りの Tololo と Concepcion は12月末と1月初めに予定地を調査しただけで、まだ掘さくは開始されていなかった。チリ大学は地震観測を Concepción 大学に委託していることや、予定地の地質は Concepción 大学の地質学教室が調査している事情からみて、Concepción の横坑完成後は地殻変動の観測も同大学物理学中央研究所（Instituto Central de Fisica）がチリ大学から観測の委託を受けることになるかも知れない。Kausel 所長や勝井助教授の奔走にもかかわらず、チリ側の横坑の完成がおくれたのは、掘さく経費の不足とチリ国内一般の事情によるもので、大学側の熱心さからみて、ペルーと同様に十分な経費が支出されておれば、決してペルーにおくれることはなかったと信ぜられるが、ここには止むを得ない事情があったわけである。チリ大学との協定は、1月10日付総長の署名で成立した。

このようにして、滞在期間わずか100日足らずの間に、ペルー8カ所、チリ3カ所の観測が開始されることになった。チリの残り2カ所は1966年内に観測開始の予定である。以上の協定関係機関、総括責任者、観測担当部門とその責任者は先に Table 1 に示したとおりであるが、帰国後の渡航関係の残務処理は中川が担当した。記録と観測関係資料は田中が保管している。また、現在観測の担当は田中が行っており、器械

関係はひきつづき津島が担当している。なお、計画の当初の坑道設計図、指導書添付の器械設計図からこの序報の図にいたるまで各種の図面の作成は小泉誠が行なった。

この計画の発端から現在まで、すでに5年以上の歳月が流れている。故西村教授の門下生一同が、防災研究所の事業として、とにかく国際的な地殻変動の共同観測に踏みだすことができたのは、各方面の御理解を得、また、御支援を頂いたからに外ならない。この計画の各段階において、実は大勢の方々の御厚意と御助力を賜った。その初期に関しては、西村教授の亡き今、お世話になった方々のすべてについては、すでに知るよしもないが、学界の諸先輩やラテン・アメリカ協会の方々などの厚い御支持を賜ったことをお聞かしている。実行段階に移されてからは、技術指導と観測器械設置のための海外出張に関しては、外務省経済協力局技術協力課、文部省調査局国際文化課、国有財産である観測器械の寄託に関しては、文部省大臣官房会計課および大蔵省の関係部局のお世話になった。なお、とくに海外出張と観測器械送附に関して数々の御便宜を計った頂いた海外技術協力事業団海外事業部、なかでも、派遣課の方々には心から御礼申し上げる次第である。

観測の準備の段階では、ペルーにおいては、ペルー地球物理研究所の石塚睦太陽部長、チリでは、北海道大学の勝井義雄助教授のお2人が、この計画に対し我事のように奔走して下さり、受入れ機関に対する助言や、準備の推進に関し、終始、御助力を頂いたことに対しては、感謝の言葉もない位である。また、川井直人大阪大学教授、安川克己福井大学講師、故神月彰関西大学助教授には、ペルー、チリ訪問のさい、現地機関との連絡、観測現場の視察、情報の交換に大変お世話になった。出張者の現地滞在中とその前後には、在ペルー、在チリ特命全権大使はじめ大使館各位に、数々の御便宜を計って頂き、また御援助を賜った。さらに、在留邦人ならびに日系市民の方々には、親身のお世話を頂戴した。現地3機関の責任者、研究者については、共同観測者として、その熱意と準備の周到さに尊敬の意を表するにとどまる。また、京都大学事務局ならびに防災研究所事務局職員の方々、とくに、このために東奔西走して頂いた藤井防災研究所事務長の御努力に感謝の意を表したい。その他にも、ここに書き尽せなかったが、直接間接にお世話になった大勢の方々に、この共同観測が、この序報に述べたように順調に運ばれていることを御報告して、感謝のしるしに代える。終りに当り、この計画の立案者であり推進者であった故西村英一教授の御冥福を祈って筆をおく。

本稿の記述内容と文章用語の責任は、田中豊にある。(1966年12月)

参 考 文 献

- 1) Nishimura, E.: Anomalous tilting movement of the ground observed before destructive earthquakes, Rep. 1st Internat. Sym. on Recent Crustal Movements, Leipzig, 1962, pp. 214—234.
- 2) Ichinohe, T. and Tanaka, Y.: Characteristic Movements of the Earth's Crust related with the Activity of Earthquakes, Nat. Rep. Japan to 2nd Internat. Sym. on Recent Crustal Movements, Helsinki, 1965, pp. 44—52.
- 3) Tanaka, Y., Katō, M., and Koizumi, M.: Crustal Movements related to the Seismic Activity in Restricted Area (1), Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Ann., No. 10 A, 1967, pp. 123—140.
- 4) Tanaka, Y.: Relation between Crustal and Subcrustal Earthquakes inferred from the Mode of Crustal Movements, Special Contrib., Geophys. Inst., Kyoto Univ., No. 4, 1964, pp. 19—28.
- 5) Harrington, H. J.: Morphostructural Region of South America, Handbook of South American Geology, Geol. Soc. Amer., Mem. 65, 1956, pp. xiii—xviii.
- 6) Instituto de Geofísica y Simología, Universidad de Chile: Gravity Chart of the Southern

- Andes, 1963.
- 7) Worzel, J. L.: Pendulum Gravity Measurements at Sea, 1936—1959, Lamont Geol. Obs. Contrib., No. 807, 1965.
 - 8) Akad. Nauk, SSSR et al.: Geophysical Atlas of the World, 1964, Moskva.
 - 9) Comite Peruano de la Carta Geologica del Mundo: Mapa Geologico del Perú, Escala 1: 1,000,000, 1960.
 - 10) Bellido B., E. y Simons, F. S.: Memoria Explicativa del Mapa Geologico del Perú, Boletin de la Sociedad Geologica del Perú, Tomo 31, 1957.
 - 11) Muñoz Criستی, J. y Flores Williams, H.: Bosquejo Geologico de Chile, Appended map of the "Fundamentos de la Geologia de Chile".
 - 12) Brüggem M., J.: Fundamantos de la Geologia de Chile, Instituto Geografico Militar, 1950.
 - 13) Instituto de Investigación Geologica: Mapa Geologico de Chile, Escala 1: 1,000,000, 1960.
 - 14) Ahlfeld, F.: Bolivia, Handbook of South American Geology, Geol. Soc. Amer., Mem. 65, 1956, pp. 167—186.
 - 15) Lomnitz, C.: On Andean Structure, Journ. Geophys. Res., Vol. 67, No. 1, 1962, pp. 351—363.
 - 16) Huaco O., D. y Castillo V., J.: Zonas de Fractura y Regionalización Sismica del Perú, Publicación del Instituto Geofísico del Perú, 1963.
 - 17) Rodriguez B., A., Steinhart, J. S. and Asada, T.: The San Agustin Fault System of Southern Peru, Bull. Seis. Soc. Amer., Vol. 52, No. 4, 1962, pp. 793—805.
 - 18) Tsuboi C.: Earthquake Province-Domain of Sympathetic Seismic Activities. Journ. Phys. Earth, 6, 1958, pp. 35—49.
 - 19) Corporación de Fomento de la Producción: Geografia Económica de Chile, Texto Refundido, 1965.