

ニュージーランドのアルパイン断層について
— 発見から480 km の右横ずれ概念へ —

高橋 治郎

(愛媛大学教育学部地学教室)

Rodney GRAPES

(School of Earth Sciences Victoria University of Wellington, New Zealand)

(平成10年10月8日受理)

**The Alpine Fault of New Zealand:
from its discovery to the notion of the 480km offset**

Jiro TAKAHASHI

Department of Geology, Faculty of Education, Ehime University

and

Rodney GRAPES

School of Earth Sciences Victoria University of Wellington, New Zealand

(Received October 8, 1998)

Abstract

The well known Alpine Fault of New Zealand is a trench-trench transform fault that extends from Milford Sound in the southwest of the South Island to Cook Strait at the northeast along the western side of the Southern Alps. The fault is the locus of an oblique collision zone between the Australian and Pacific plates along which there has been 480km (300mile) dextral and 35km vertical movement.

Many geologists and geographers have some knowledge of the Alpine Fault but few are familiar, with who, when, and where the Alpine Fault was discovered.

Here we introduce the history of the discovery of the Alpine Fault and the notion of the 480km (300mile) offset.

The Alpine Fault was first recognised by Harold Wellman and Dick Willett in 1942, when they were sent by the Geological Survey of New Zealand to search for mica in pegmatites in the southern part of the Southern Alps. They described the following criteria used to map the fault:

- (1) The presence of a scarp or a sudden but regular change in summit height.
- (2) Wide crush zones with slips and rapid erosion.
- (3) Subsequent rivers flowing along co-linear courses parallel to the trend of the Alps, connected by low passes.
- (4) Change in rock type.
- (5) Offsetting of river courses.

A 480km (300mile) dextral displacement was first suggested by Wellman in 1949, and the idea formalised in 1955. Many geologists accepted that several miles of dextral displacement had taken place on the Alpine Fault, but the majority did not accept that 480km dextral displacement had occurred.

McKenzie and Morgan (1969)¹⁾ considered the Alpine Fault to be a transform fault. Subsequently, as the theory of plate tectonics became widespread, all geologists accepted the 480km dextral displacement of the Alpine Fault and that movement on the Alpine Fault started about 23Ma.

Key words : Alpine Fault, 480km dextral displacement, Harold Wellman, New Zealand, South Island

キーワード：アルパイン断層，480kmの右横ずれ，ハロルド ウェルマン，ニュージーランド，南島

はじめに

ニュージーランドのアルパイン断層はアメリカ，カリフォルニアのサン・アンドレアス断層などとともに世界的に有名な大断層で，地学の教科書には必ずといって良いほど衛星写真や地質図，地質断面図が掲載され紹介されている。このアルパイン断層の480 kmにもおよぶ右横ずれ変位を地質図上の岩石分布の食い違いから確認したり，大規模な引きずり構造を変成岩の分布から読み取ったりした経験を持つ人は多い。アルパイン断層は，北島の東側から西側へ沈み込む太平洋プレートと南島南西部の西側から東側に沈み込むオーストラリア（・インド）プレートのトランスフォーム断層であり，これがニュージーランド南島に露出したものである。こうしたプレート境界であるアルパイン断層は，サザン・アルプスの上昇など地殻変動を引き起こしている一方，地殻変動に見合う地震活動が不活発であるため地震学，測地学，地球物理学，構造地質学，変成岩石学などの研究対象にされている断層である。したがって，これまでに公表された論文は多数あり，現在もアルパイン断層に関連する研究は数多く実施されている。

このように有名でニュージーランド内外の研究者によって研究されているアルパイン断層ではあるが，この断層を誰が，いつ，どこで，どのようにして発見したかについては意外に知られていない。後述する Rhodes (1996)²⁾ が言うように「もし誰かがアルパイン断層の文献をさかのぼって調べようとしても驚くほど分かりにくい。（その理由は）断層の発見も480 kmのオフセットの概念についての発表も単独の論文としては公表されていないからである。また，最も初期の文献においてはそれらは付随的なことであるからである」。こういうこともあり，ニュージーランド地質学会が1996年11月に発行したニュースレター（no.111）で，John Rhodes が「アルパイン断層，1941-50」と題して，発見にまつわるエピソードなどを紹介している。この記事は，アルパイン

断層発見者の一人である Wellman とのインタビューをもとに1985年書かれていたものである。なお，この記事にはニュースレターの編集者の「…最近までホコリをかぶっていたものであるが，この文章自体歴史的見解を持ちはじめたので，Wellman の手紙とともに掲載する…」旨の但し書きが付けられている。ここで言う Wellman の手紙とは，インタビューの時には思い出さなかったり，言い忘れたり，付け加えたいことを Rhodes 宛に出したもので，日付は1985年9月11日となっている。

本文では，この Rhodes (1996)²⁾ を基に，主として Wellman の論文を参照しながらアルパイン断層の発見から480 kmの右横ずれの提唱，そしてこれらが地質学界から承認されるまでの過程を紹介する。

謝辞 高橋は，文部省の在外研究員として1997年7月から1998年4月までの10ヶ月間，ニュージーランドのヴィクトリア大学で活断層や地すべりの研究を行なうことができた。本研究はそれらのうちの一部である。在外研究の機会を与えてくださった文部省ならびに愛媛大学当局，何かと便宜を図ってくださったヴィクトリア大学，School of Earth Sciences の Head of School である Euan G. C. Smith 教授，School Administrator の Julie Round さん，School Librarian の Jill Ruthven さんをはじめ教室の皆さん，以上の方々に心よりお礼申し上げます。

アルパイン断層の発見以前

19世紀の中頃からヨーロッパの博物学者や地質学者がニュージーランドを訪れるようになり，探検的地質調査がはじまった。そして1864年には，オーストラリアの Hochstetter によってドイツ語で「ニュージーランドの地質」（1959年に Fleming によって“Geology of New Zealand”として英訳されている³⁾）が出版された。この「ニュージーランドの地質」は，Auckland と Nelson

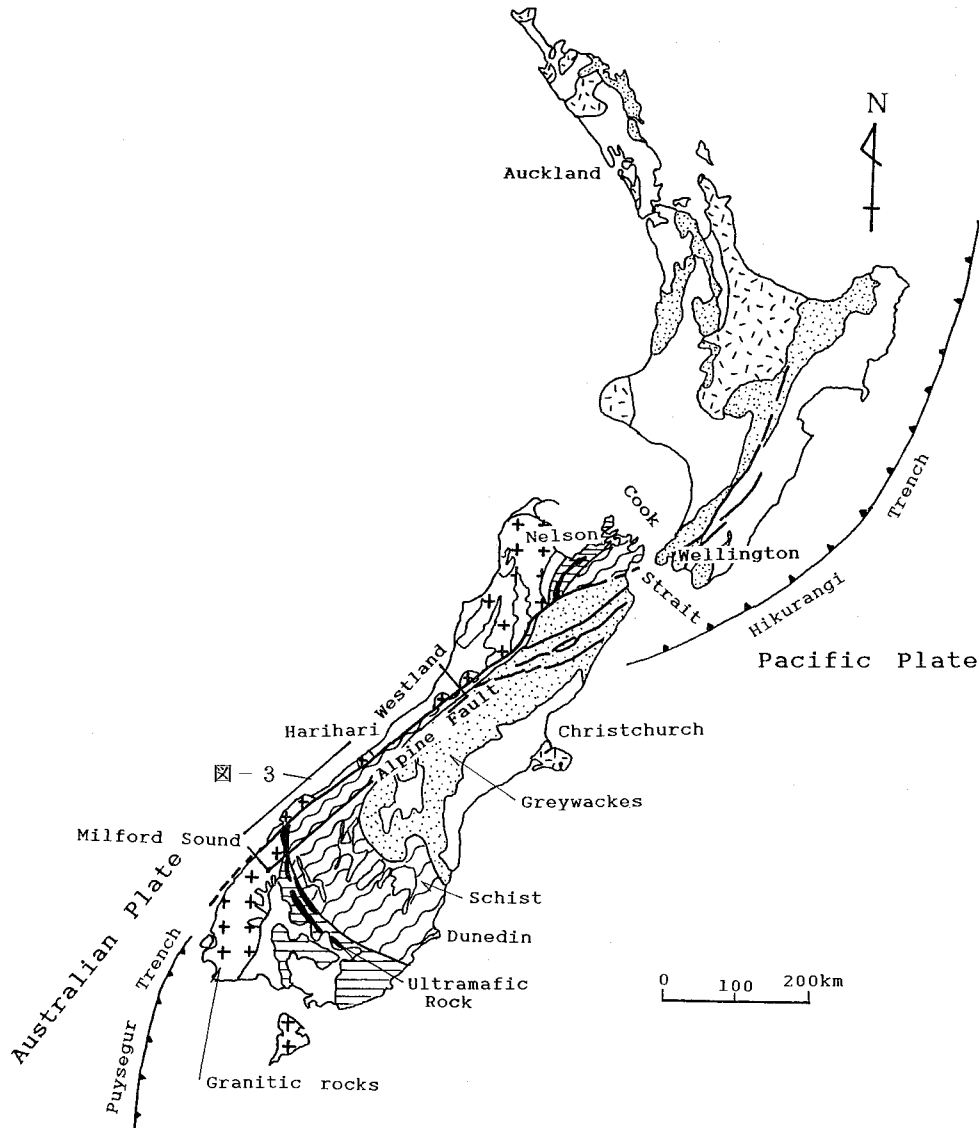


図-1 ニュージーランドの地質概略図とアルパイン断層の位置

両地域の地質を扱ったものである。翌1865年にニュージーランド地質調査所が設立されたが、この年すでに200万分の1、Sketch Map of the Geology of New Zealand がカラーで作られたと言う (Burton, 1965⁴⁾). この地質図を Kidd (1996)⁵⁾ によって作成された「公的に保管されている地質図リスト」で捜したが、この年の前後に縮尺の異なる同名の地質図が複数作成されているが、Burton (1965)⁴⁾ の指摘に合致する地質図は見いだせなかった。しかし、1865年当時すでに地質概略図が作成されていたことは事実である。その後、地質調査所や大学の研究者の増加とともに活発にニュージーランドの地質に関する調査研究が行なわれるようになり、地質図の精度も向上してゆく。

後述するようにアルパイン断層の発見は遅れるが、北島の主要断層の1条であるウエリントン断層は McKay

(1892)⁶⁾ によって Wellington 市をよぎる第2断層 (Fault No.2) として19世紀末には認識されており、その後 Cotton (1912)⁷⁾ により命名されている (Begg and Mazengarb, 1912⁸⁾), Mckey (1892)⁶⁾ に掲載されているニュージーランドの断層図は1890年に作成されたもので、Fault No.2 は Wellington 市付近では今日のウエリントン断層にはほぼ一致するもののその北東延長は大きく異なる。また南島にもその延長を図示している。この断層図は主要断層と地震による割れ目 (Earthquake Rents) を図示した画期的なもので、1855年の Wairarapa 地震で活動した部分のワイララパ断層やウエリントン断層が示されている。この図には多数の断層が図示されているが、アルパイン断層に相当するものはない (図-2)。

その後1900年代初頭までには、南島西部地域の地質調

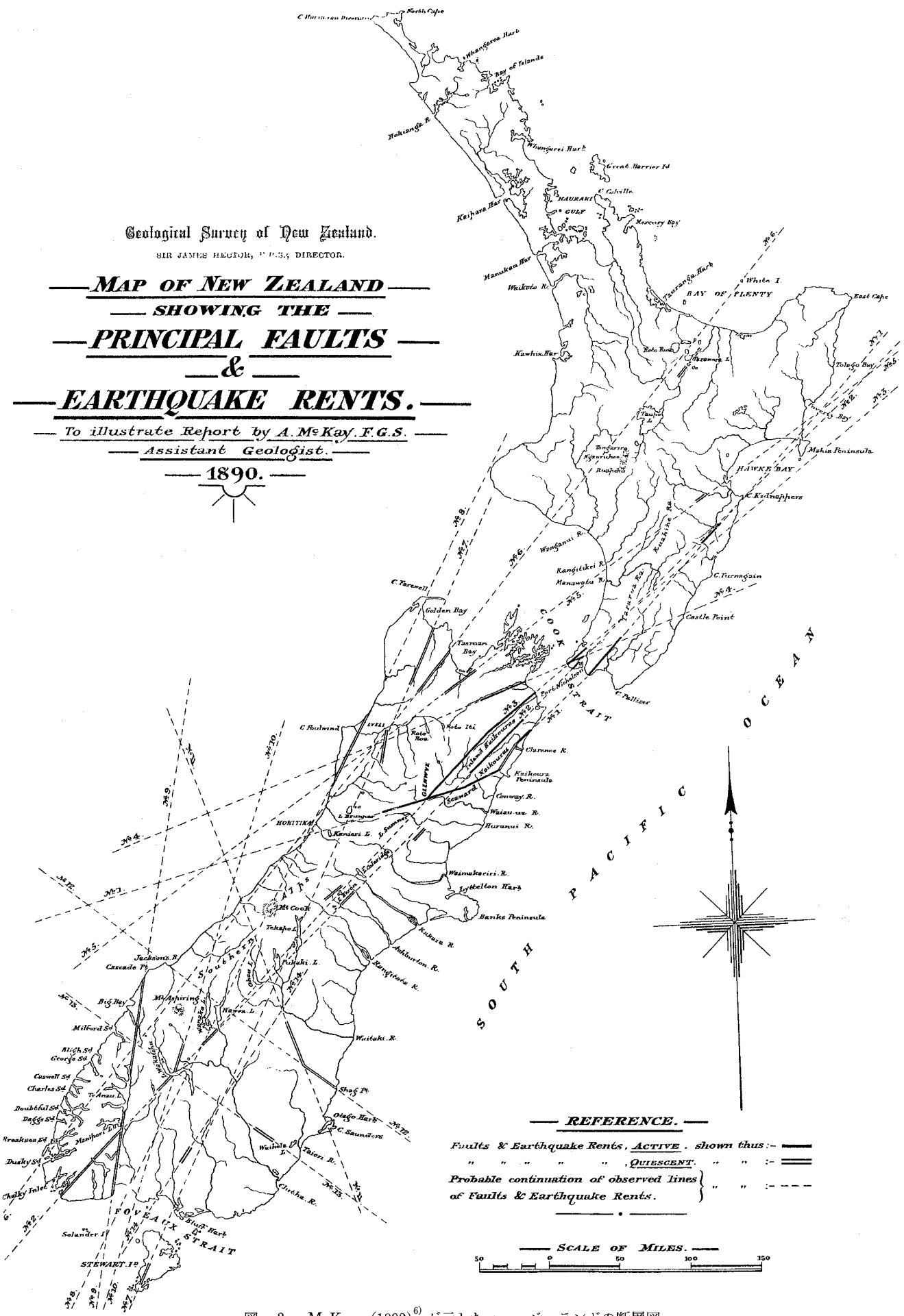


図-2 MaKay (1892)⁶⁾が示したニュージーランドの断層図

査も進み、アルパイン断層のセグメントについては断片的に報告されていた。そうした中であって、Morgan (1908)⁹⁾ はアルパイン断層に沿ういわゆる断層谷を“Gregory Valley”と呼び地質図に示し、また、Henderson (1937)¹⁰⁾ は1929年の地震に関連して南島北東部の地質や断層、褶曲についてふれ、今日のアルパイン断層近くの小断層に、それも地質断面図にのみ“Alpine Fault”と記している。

こうして1940年までには地域地質の報告書や地質図が地質調査所や大学から数多く公表され、前述のようにアルパイン断層付近の調査・研究も多少はなされていた。しかし、まだ南島に大断層が存在すると言う認識はなかった。

アルパイン断層の発見とその経緯

当時30歳代前半だった Harold Wellman と Dick Willett の二人は、1941年8月下旬から9月末までの6週間、地質調査所から Alpine 結晶片岩類に貫入するペグマタイト中のマイカ（雲母）を捜すために南島の Westland へ派遣された。これは当時戦時中でありマイカが得難く、無線電信機製造のためのコンデンサー用にマイカを必要としたからである (Rhodes, 1996²⁾)。ニュージーランドの8月から9月と言えば冬から春への変わり目の季節にあたり雨の多い時期であるが、この調査の折には天候も味方し、調査がはかどり大発見ができたらしい。しかし、9月下旬から天気がくずれ、降り続く雨の中調査が続けられたと言う。

(余談だがこの調査旅行中の主要な食料品としては、小麦粉、粉ミルク、マカロニ、白インゲンマメ (lima bean)、ベーコンであと羽毛の寝袋と携帯用テントを持っていた。)

主目的はマイカを捜すための調査であったが、ウエリントンを出発するときから二人は、サザン・アルプスの西側に沿って大断層が存在するはずなので、これを見つけようと考えていた。また、Wellman はこれから赴く West Coast の Westland は、黒砂中の砂金捜しで生計を立てていた1930年代の9ヶ月間、Waiho から Haast を歩いた経験があり土地勘があった。

二人は、これから捜す断層の判定基準を次の5つとして調査を行なうこととした (Wellman and Willett, 1942 a¹¹⁾)。

- (1) 崖あるいは山頂の高さが突然、しかし系統的に変化する場所の存在。
- (2) すべりを伴う幅広い破碎帯と急速な侵食。
- (3) 標高の低い峠によって連なった Alps の山脈方向に平行な同一線上を流れる必従河川。
- (4) 岩石種の変化。

(5) 河川流路のオフセット。

大部分が未開の地であるため調査は難渋をきわめたが、予想に違わず各所で判定基準を満足する断層を見だし、Abut Head から南西方の Milford Sound にかけて連続するアルパイン断層の存在を明らかにすることができた。この成果は Wellman と Willett の連名で1942年に“The Geology of West Coast from Abut Head to Milford Sound-Part 1”として発表された。

ニュージーランド地質調査所の開設100年を記念して出版された印刷物には「アルパイン断層は、北の Wairau Valley から南の Milford Sound まで、この間すべてが1941年に Wellman と Willett によって最初に明瞭に追跡された」(Lensen, 1965¹²⁾) とある。また、Wellman and Willett (1942 a)¹¹⁾ の地質図の原図と考えられるものが Kidd (1996)⁵⁾ の地質図リストでも1941年として記載されている。1941年は調査の年であるが、この年の10月9日には、この“The Geology of West Coast from Abut Head to Milford Sound-Part 1”の骨子が Royal Society of New Zealand のウエリントン支部会で発表されている。

調査旅行からいつウエリントンに帰ったかは明らかではないが、Rhodes (1996)²⁾ に「次の日(9月26日)に Homer Tunnel にある Public Works camp に出向き、ここで Dunedin 行きのバスに乗る前に、温かいシャワーと食事、ベットが得られた」とあるので、早くても9月29、30日頃のことと考えられる。「ウエリントンでは、驚いたことに地質調査所所長の J. Henderson 博士は、二人の日程不明確な長期不在や少量しかマイカが発見できなかったことについては何も質問しなかった。しかしながら二人は、記録装置付きの調査技師とでも言うべき Wellman の描いた地質図を添えた論文を大急ぎで書き公表した」(Rhodes, 1996²⁾) とあるように調査の成果が短期間でまとめられ、口頭発表は上述したように10月9日におこなわれ、論文は11月10日に受理されている (Wellman and Willett, 1942 a¹¹⁾)。

Wellman and Willett (1942 a)¹¹⁾ は、先行研究を丁寧で紹介し、これから論議してゆくアルパイン断層という名称は、Henderson (1937)¹⁰⁾ が使用していることを述べた上で、前述の断層判定基準に沿って Abut Head から Milford Sound までの約250 km のアルパイン断層の実体を明らかにしている (図-3)。また、河川流路などのオフセットに関しては12ヶ所の変位を0.4~1.2マイルであることを報告している。こうしたオフセットに関する研究は Wellman の後々の活断層の研究へと発展して行くことになる (例えば、Wellman (1953¹³⁾, 1972¹⁴⁾), Hardy and Wellman (1984)¹⁵⁾ など)。

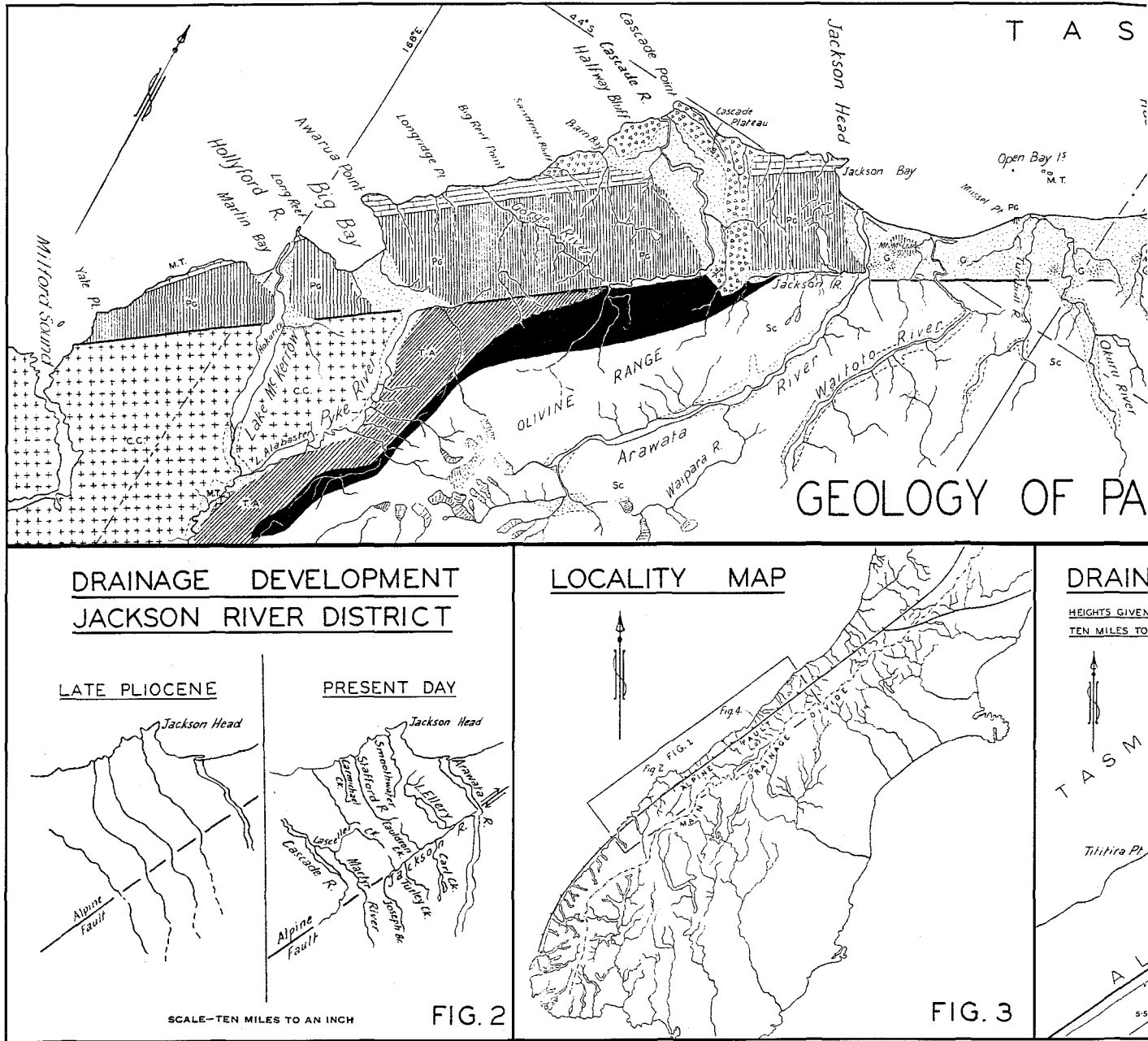


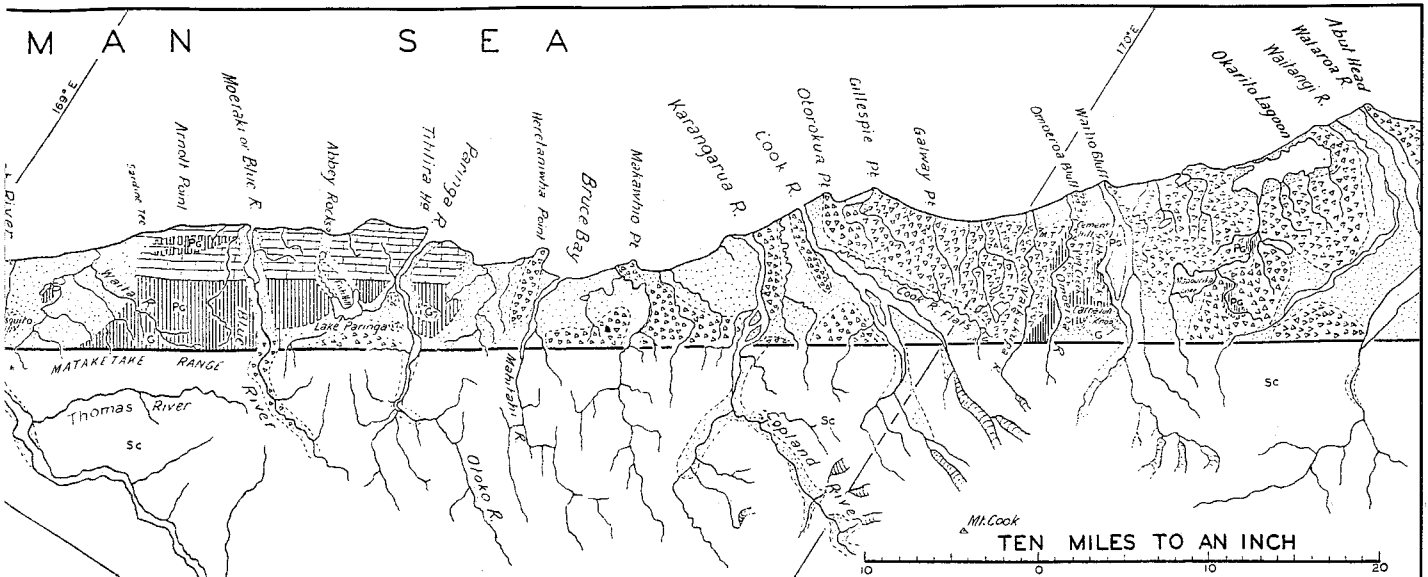
図-3 最初に地質図に示されたアルパイン断層 (Wellman and Willett, 1942 a)¹¹⁾

論文発表後の反応

断層地形についても多数の論文を公表し、名著“Geomorphology” (1942, 1960) や“Earth beneath” (1945), “Landcape (2nd ed.)” (1948) —前2著にはアルパイン断層に関する記述や図はまったくでてこないが、最後の著書では触れている—を書いた Cotton は、Wellman and Willett (1942 a)¹¹⁾ を読んで、引用すべき侵食に関する論文1編が抜けていることを指摘したようで、このことが「氷河作用」をあつかった Part 2 の論文 (Wellman and Willett, 1942 b)¹⁶⁾ に付記と

して述べられている。この付記によってニュージーランド地質学界の重鎮 Cotton が Wellman and Willett (1942 a)¹¹⁾ を関心を持っていち早く読んだことがわかる。

Ongley (1943)¹⁷⁾ が1942年に発生した Wairarapa 地震に関連して示した図には、Mt. Cook の西から北東の Otira までの、約180 km のアルパイン断層は破線で、またこの区間のアルパイン断層中央部にあたる Harihari の南約6 km は地震によってできた崖として、太い実線で描かれている。また Gage (1945)¹⁸⁾ は、Westland の Ross に分布する第三系と第四系の地質を議論する際にアルパイン断層についても触れている。



RT OF THE WEST COAST. SOUTH ISLAND. FIG. 1

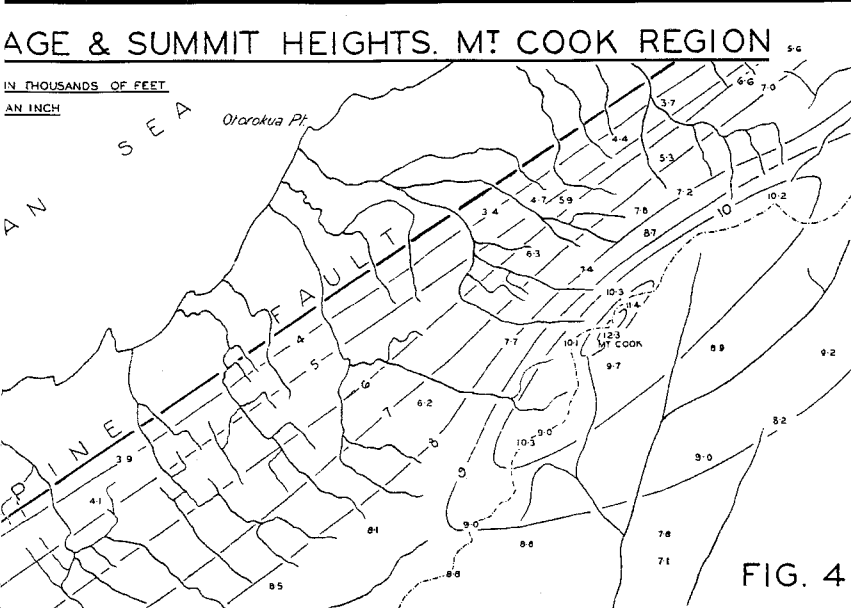


FIG. 4

REFERENCE	
[Pattern]	RECENT FRESH WATER & MARINE GRAVEL, SAND & SILT.
[Pattern]	PLEISTOCENE TERRESTRIAL & MARINE GLACIAL TEL., SILT, SAND & GRAVEL.
[Pattern]	MID-TERTIARY SANDSTONE, MUDSTONE, CONGLOMERATE & LIMESTONE WITH BASIC VOLCANICS.
[Pattern]	ULTRA-BASIC PERIDOTITE, PYROXENITE & SERPENTINE.
[Pattern]	TE ANAU GREEN & PURPLE CONGLOMERATE, BRECCIA, GREYWACKE & ARGILLITE
[Pattern]	GRANITE GRANITE & GNEISS.
[Pattern]	SCHIST
[Pattern]	GREENLAND GREYWACKE & ARGILLITE PARTLY CHANGED TO CONTACT SCHIST & HORNFELS
[Pattern]	CRYSTALLINE COMPLEX

その後、Cotton (1947)¹⁹⁾ は一葉の空中写真を示し、第三紀末に形成された準平原などからアルパイン断層について論じ、最新の活動はアルパイン断層西側、すなわちタスマン海側が波曲しながら北東に移動するとともに、断層南東側がサザン・アルプスとして相対的に上昇したものと考えた。また、この論文の骨子を“Landscape (2nd ed.)” (Cotton, 1948²⁰⁾) でも紹介している。

このようにアルパイン断層は論文発表後数年のうちに認知され、1948年にはニュージーランド地質調査所から発行された地質図に、地質図としてははじめてアルパイン断層が明瞭に示された (Wellman, 1955²¹⁾)。

480 km (300 mile) の右横ずれ変位の提唱

アルパイン断層発見後も各地の調査を行っていた Wellman は、古生代の岩石の分布を中心に南島の地質をまとめていると、アルパイン断層の南東側にあたる南島南部 (北西 Otago) に分布する岩石類と、アルパイン断層の北西側にあたる南島北東部 (Nelson) に分布する岩石類が岩石学的、層序学および構造地質学的にきわめて類似していることに気づいた。そして、「これら遠く離れた2ヶ所に分布する岩石類が、元同じ場所にあったものならアルパイン断層によって変位させられたに違

いない。そのずれは現在の河川流路のずれと同じ右横ずれで、変位量は実に480 km (300 mile) にもなる。早急にこれを検証しなければならない」と思った。

1948年に出版された“The Outline of the Geology of New Zealand” (To accompany the 16 mile to 1 inch Geological Map) において「古生層」を執筆した Wellman (1948)²²⁾ は、文章的には480 km の右横ずれ変位には触れていないものの、前述の遠く離れた2ヶ所の岩石がきわめてよく似たものであることを指摘する記載をおこなっている。

アルパイン断層の480 km (300 mile) の右横ずれ変位を Wellman が最初に取り上げ発表したのは、1949年2月に Christchurch で開催された Pacific Science Congress においてである (Rhodes, 1996)²⁾。また、Wellman (1964)²³⁾ 自身も1949年にはじめて指摘したと述べている。しかし、Lensen (1965)¹²⁾ は、1948年に Rotorua で開催された Geological Survey Conference において最初に発表した、としている。この発表した年の食い違いは多分、地質調査所内での発表は内輪のもので、正式の発表は Pacific Science Congress においてである、と Wellman が考えているからであろう。

発表当時は大部分の研究者がこの見解に否定的で、Cambridge から来た著名な岩石学者も Wellman らが示した480 km 隔たった2ヶ所から採取した岩石標本が似ていることは認めるものの大規模なアルパイン断層の右横ずれは信じなかった、と Wellman は回想している (Rhodes, 1996)²⁾。

論文として発表されたのは1955年の“The Geology between Bruce Bay and Haast River, South Westland” においてである (Wellman, 1955)²¹⁾。このように論文としての発表が遅れたのは、480 km にもおよぶ大横ずれ断層の存在は、当時世界のどこからも報告されていなかったため、充分な地質学的証拠を揃えた上での発表となったからである。また、論文のタイトルからもわかるように、大横ずれ断層についての「単独の論文としては公表されていない」(Rhodes, 1996)²⁾ ので、この論文がアルパイン断層の480 km の変位を最初に報告したものだとする研究者は少ない。論文がでても大横ずれ変位の存在を支持する研究者は少なかった。そうした中、同僚の Suggate (1963)²⁴⁾ が支持してくれるが、後に変位の開始時期などで考えを異にするようになる。一方、Wellman は480 km の変位を支持するデータを加えつつ、積極的に国際会議などでアルパイン断層について発表している (例えば、インド、ニューデリーの国際会議 (Wellman, 1964)²³⁾)。

Wellman の480 km の変位の指摘は思わぬところから支持されるようになる。それは、海洋底拡大説からプレ-

ト・テクトニクス説へと発展するまさにその転換期に、McKenzie and Morgan (1969)¹⁾ が「ニュージーランドのアルパイン断層は、異なるプレートが沈み込んでいる2つのトレンチがつながった、トランスフォーム断層の実例の1つである」と指摘したからである。これ以降、アルパイン断層はプレート境界断層と言う新しい観点から研究されるようになる。

大横ずれ変位の開始時期

Wellman (1955)²¹⁾ は最初、アルパイン断層の大規模な横ずれ運動はジュラ紀 (Wellman (1964)²³⁾ には最初、後期ジュラ紀か初期白亜紀に開始したことを述べたとあるが…) に起こったと考えたが、その後のアルパイン断層の南西延長部の研究から後期第三紀以降に大部分の横ずれ運動があったとした (Clark and Wellman, 1959²⁵⁾; Wellman and Wilson, 1964²⁶⁾; Wellman, 1964²³⁾). Wellman and Wilson (1964)²⁶⁾ では、1年に1インチ (2.52 cm) アルパイン断層が動いたと仮定すれば、300マイル (480 km) ずれるためには19,000,000年かかるとして、横ずれ運動の開始時期をおおよそ中中新世とした。一方、Wellman (1964)²³⁾ では下部第三系が初期中新世の地層中に断層で巻き込まれていることと、Wellman and Wilson (1964)²⁶⁾ と同様に1年に1インチの割合でアルパイン断層が動いたと仮定し、後中新世としている。

アルパイン断層の両側に貫入しているランプロファイアーの K-Ar 年代を測定した Wellman, P. and Cooper (1971)²⁷⁾ は、この貫入岩体の断層による食い違いから本断層の活動には白亜紀初期と後期新生代の2つの主要な時期があることを報告した。しかしその後、断層食い違いの指標としたランプロファイアーの岩体が時代の異なるものであったとし、新たにおこなった U-Rb および Rb-Sr 年代測定結果と変形構造とから後期漸新世から初期中新世にプレート境界としてのアルパイン断層が動きだしたと訂正した (Cooper ほか, 1987²⁸⁾)。

また、「ニュージーランドの地質」を集大成する際、造山運動の章をまとめた Suggate (1978)²⁹⁾ は、アルパイン断層の横ずれ変位の大部分は中～後期白亜紀には完了していたとし、さらに、垂直変位を重視する彼は「Westland 中部においては、段丘に横ずれ変位を示すものはないにもかかわらず Wellman and Willett (1942 a)¹¹⁾ や Wellman (1953)¹³⁾ は谷の大きなオフセットを報告している。…、これには異論がある」と述べた。

一方、アルパイン断層の南西端の地質構造と堆積盆の形成発達史を研究した Norris and Carter (1982)³⁰⁾ は、本断層の活動開始時期を後期始新世から初期漸新世

とした。

このように1980年代前半までは研究者によって、アルパイン断層の異なる活動開始時期が考えられていた。しかし、この決着は海洋底の古地磁気データからもたらされることになる。

南西太平洋の海洋底拡大やニュージーランドの第三系堆積盆の形成発達史を古地磁気学的、堆積学的に検討した Kamp (1986)³¹⁾ や Kamp and Fitzgerald (1987)³²⁾ は、オーストラリアプレートと太平洋プレートの境界としてのアルパイン断層は漸新世と中新世の境界にあたる約23 Ma から活動し始めた、とした。

現在、この23 Ma という Kamp らの開始時期の考えが広く受け入れられている。アルパイン断層の発見から480 km の横ずれ、その開始時期の決着まで実に45年の歳月を要している。

アルパイン断層の発見から本断層の研究に携わってきたヴィクトリア大学名誉教授 Harold Wellman 博士は1910年生まれで、1935年から1956年までは地質調査所に、1956年から1978年まではヴィクトリア大学に籍をおいていた。氏は現在ウェリントンに住んでおられる。

おわりに

これでアルパイン断層の研究が終わったわけではなく、本断層に関連して「サザン・アルプスの起源」(Royal Society of New Zealand から1979年に特集号“The Origin of the Southern Alps”, Bulletin 18 が発行されている)が岩石学的、構造地質学的、地震学的、測地学的に研究されている。この特集号の中で Wellman (1979)³³⁾ は南島の上昇速度のコンター図を示すとともに、上昇を引き起こす理由を説明するモデルを提案している。これらの成果は、その後の研究に受け継がれている。

そうした中、Grapes and Watanabe (1994)³⁴⁾ や Grapes (1995)³⁵⁾ はアルパイン変成岩類の研究からサザン・アルプスの上昇を議論し、中生代中期から上昇がはじまり、新生代に急激に上昇しその総上昇量が約35kmにおよぶことを論じるとともに、これらを説明するアルパイン断層付近の断面図を示した。この Grapes らの上昇モデルは、Wellman (1979)³³⁾ の上昇モデルを支持するものである。

また、Smith ほか (1995)³⁶⁾ や Stern ほか (1997)³⁷⁾ は、ニュージーランド南東中央部を横断する一連の地震波探査をおこない、アルパイン断層の破砕帯と推定される低速度帯が40度で南東に傾いていることをはじめ地下深部の構造を明らかにしつつある。これらの成果も Wellman (1979)³³⁾ の上昇モデルの断面図が妥当なものであることを示している。これら一連の研究により、地

殻変動の激しいサザン・アルプスの北側を限るアルパイン断層が、なぜ地震活動の低調な断層であるのかについて、その理由解明に迫りつつある。

文 献

- 1) McKenzie, D. P., Morgan, W. J., 1969, Evolution of Triple Junction. *Nature*, vol. 224, 125-133.
- 2) Rhodes, J., 1996, Alpine Fault, 1941-50. *Newsletter* no. 111, Geological Society of New Zealand, 52-62.
- 3) Hochstetter, F. von, 1864, Fleming, C. A. translated, 1959, *Geology of New Zealand*. Government Printer, Wellington, 320p.
- 4) Burton, P., 1965, *The New Zealand Geological Survey 1865-1965*. New Zealand Geological Survey Handbook, Information Series no. 52, 147p.
- 5) Kidd, C. M., 1996, Union list of archival, manuscript, and theses geological maps of New Zealand. Miscellaneous Publication, no. 93, Geological Society of New Zealand, 415p+Subject index.
- 6) McKay, A., 1892, On the Geology of Marlborough and southeast Nelson. New Zealand Geological Survey, Reports of Geological Explorations no. 21, 1-28, 1-map.
- 7) Cotton, C. A., 1912, Recent and sub-Recent movement of uplift and subsidence near Wellington, New Zealand. *Scottish Geographical Magazine*, vol. 28, 306-312.
- 8) Begg, J. G., Mazengarb, C., 1996, “Geology of the Wellington area, scale 1:50000”. Institute of Geological & Nuclear Sciences geological map22. 1sheet+128p.
- 9) Morgan, P. G., 1908, The Geology of the Mikonui Subdivision, North Westland. *New Zealand Geological Survey Bulletin*, no. 6. 72p.
- 10) Henderson, J., 1937, The West Nelson Earthquake of 1929. *The New Zealand Journal of Science and Technology*. vol. 19, 65-144.
- 11) Wellman, H. W., Willett, R. W., 1942a, The Geology of West Coast from Abut Head to Milford Sound-Part 1. *Transactions of the Royal Society of New Zealand*, vol. 71, 282-306.
- 12) Lensen, G. J., 1965, Advances in Quaternary Tectonics. 98-100, in Burton, P., “The New Zealand Geological Survey 1865-1965”. New Zealand Geological Survey Handbook, Information Series no. 52, 147p.
- 13) Wellman, H. W., 1953, Data for the study of Recent and Late Pleistocene faulting in the South Island of New Zealand. *The New Zealand Journal of Science and Technology*, vol. 34, 270-288.
- 14) Wellman, H. W., 1972, Rate of horizontal fault displacement in New Zealand. *Nature*, vol. 237, 275-277.
- 15) Hardy, E. F., Wellman, H. W., 1984, The Alpine, Wairau, & Hope Faults. Publication of Geology Department Victoria University of Wellington no. 27.
- 16) Wellman, H. W., Willett, R. W., 1942b, The Geology of

- West Coast from Abut Head to Milford Sound—Part 2, Glaciation. *Transactions of the Royal Society of New Zealand*, vol. 72, 199–219.
- 17) Ongley, M., 1943, Wairarapa Earthquake of 24th June, 1942, together with map showing surface traces of faults Recently active. *The New Zealand Journal of Science and Thchnology*, vol. 25, 67–78.
- 18) Gage, M., 1945, The Tertiary and Quaternary Geology of Ross, Westland. *Transactions of the Royal Society of New Zealand*, vol. 75, 138–159.
- 19) Cotton, C. A., 1947, The Alpine Fault of the South Island of New Zealand from the Air. *Transactions of the Royal Society of New Zealand*, vol. 76, 369–397.
- 20) Cotton, C. A., 1948, Landscape (2nd ed.). Whitcombe and Tombs Limited, 509p.
- 21) Wellman, H. W., 1955, The Geology between Bruce Bay and Haast River, South Westland. *New Zealand Geological Survey Bulletin* n. s. 48(2nd ed.), 46p.
- 22) Wellman, H. W., 1948, Palaeozoic. 1–10, in “The Outline of the Geology of New Zealand” (To accompany the 16 mile to 1 inch Geological Map), Officers of the Geological Survey. 47p.
- 23) Wellman, H. W., 1964, Age of Alpine Fault, New Zealand. Proceedings, Section 4, Rock Deformation and Tectonics : International Geological Congress, 22nd, New Delhi, Organising Committee, 148–162.
- 24) Suggate, R. P., 1963, The Alpine Fault. *Transactions of the Royal Society of New Zealand Geology*, vol. 2, 105–129.
- 25) Clark, R. H., Wellman, H. W., 1959, The Alpine Fault from Lake McKerrow to Milford Sound. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, vol. 2, 590–601.
- 26) Wellman, H. W., Wilson, A. T., 1964, Notes on the geology and archaeology of the Martins Bay districe. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, vol. 7, 702–721.
- 27) Wellman, P., Cooper, A., 1971, Potassium–argon ages of some New Zealand lamprophyre dikes near the Alpine Fault. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, vol. 14, 341–350.
- 28) Cooper, A. F., Barreiro, B. A., Kimbrough, D. L., Mattinson, J. M., 1987, Lamprophyre dike intrusion and the age of the Alpine fault, New Zealand. *Geology*, vol. 15, 941–944.
- 29) Suggate, R. P. 1978, Development of the Orogeny. 318–333, in Suggate, R. P., Stevens, G. R., Te Punga, M. T. eds., “The Geology of New Zealand”. Government Printer, Wellington. 2vols, 820p.
- 30) Norris, R. J., Carter, R. M., 1982, Fault–bounded blocks and their role in localising sedimentation and deformation abjacent to the Alpine Fault, southern New Zealand. *Tectonophysics*, vol. 87, 11–23.
- 31) Kamp, P. J. J., 1986, Late Cretaceous–Cenozoic development of the Southwest Pacific region. *Tectonophysics*, vol. 121, 225–251.
- 32) Kamp, P. J. J., Fitzgerald, P. G., 1987, Geologic constraints on the Cenozoic Antarctica–Australia–Pacific relative plate motion circuit. *Geology*, vol. 15, 694–697.
- 33) Wellman, H. W., 1979, An uplift map for the South Island of New Zealand, and a model for uplift of the Southern Alps. *The Royal Society of New Zealand Bulletin* 18, 13–20.
- 34) Grapes, R. H., Watanabe, T., 1994, Mineral composition variation in Alpine Schist, Southern Alps, New Zealand : Implications for recrystallization and exhumation. *The Island Arc*. vol. 3, 163–181.
- 35) Grapes, R. H., 1995, Uplift and exhumation of Alpine Schist, Southern Alps, New Zealand : thermobarometric constraints. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, vol. 38, 523–533.
- 36) Smith, E. G. C., Stern, T., O’Brien, B., 1995, A seismic velocity profile across the central South Island, New Zealand, from explosion data. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, vol. 38, 565–570.
- 37) Stern, T. A., Wannamaker, P. E., Eberhart–Phillips, D., Okaya, D., Davey, F. J., South Island Project Working Group, 1997, Mountain Building and Active Deformation Studied in New Zealand. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, vol. 78, no. 32, 329, 335–336.