

氏 名	たに かわ わたる 谷 川 亘
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3013 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学位論文題目	Transport properties and high-velocity frictional behavior of Chelungpu, Shuangtung and Shuichangliu fault zones and their implication for fault motion during 1999 Chi-Chi earthquake (車籠埔断層、双冬断層および水裏坑断層における流体移動特性と高速摩擦特性と1999集集地震時における断層すべり運動の考察)
論文調査委員	(主 査) 教 授 嶋 本 利 彦 助教授 田 上 高 広 教 授 平 島 崇 男

論 文 内 容 の 要 旨

1999年台湾集集地震 ($M_w=7.6$) は、震源域の北部と南部において地震挙動に大きな違いが認められた。北部ではすべり速度および断層の変位量が大きく、南部では断層変位は小さかったが、加速度が大きく地震被害も大きかった。このような断層挙動の違いを理解するために、本研究では、震源域および隣接したガス田の地下深部における流体圧分布、集集地震を引き起こした車籠埔断層、震源域の東側に発達した雙冬断層と水裏坑断層について調査・研究をおこなった。広域的な地下流体圧分布の決定は、水が地震の発生に果たす役割を解析するために必要である。また、断層調査においては、車籠埔断層の北部と南部で掘削されたコア、及び上記3つの断層の地表露頭を調べて断層帯の内部構造を明らかにし、室内変形透水実験によって断層帯の力学的・水理学的性質を調べた。主要な結果は、以下の通りである。

(1) 地下流体圧分布を求めるために、油田地帯の全層序から採取した堆積岩の浸透係数・間隙率・比貯留量・スケンプトン係数を地下深部条件下で測定し、それに基づいて堆積盆地の発達過程の解析をおこなった。それらの水理定数はいずれも地下深部ほど低い値を示し、浸透係数については地表付近では 10^{-14}m^2 を示すのに対し、深度 6km においては 10^{-20}m^2 を示して6桁もの減少が認められた。一方比貯留量は、 10^{-9}Pa^{-1} から 10^{-11}Pa^{-1} へと2桁ほど減少した。地下深部からの流体の供給とスメクタイトの脱水作用による流体の供給を含めた堆積盆の発達過程を1次元的に解くことによって、油田地帯で実測された地下の流体圧分布を定量的に説明することができた。集集地震の震源域でも同様な解析をおこない、約 4km 以深では異常隙水圧の発生が予想されることが分かった。

(2) 断層岩の浸透係数測定の結果、車籠埔北部の浸透係数は南部に比べて約1桁小さい値を示した。また浸透係数は車籠埔断層、水裏坑断層、雙冬断層の順に小さくなり、雙冬断層帯で代表されるような断層の中程度の深さで、浸透係数は最も小さい可能性がある。一方、地震性断層運動を再現するためにおこなった高速摩擦実験では、3つの断層帯から採取した断層ガウジの間で顕著な違いは認められなかった。いずれの断層帯も、断層の安定性を決める上で重要なパラメタである断層弱化解距離 D_c は 6~13m という値を示した。断層帯の流体移動特性と高速摩擦特性を用いて thermal pressurization の解析を行った結果、車籠埔断層の南部はこの機構による強度低下がほとんど起こらないのに対して、北部では同機構が有効的に働くことがわかった。またより古い時代に活動した雙冬断層帯が車籠埔断層の中深度における水理学的性質を示しているとする、車籠埔断層は中程度の深さで、thermal pressurization によって最も急激な強度低下をおこすことが予想される。また3つの断層帯から採取した低速摩擦試験の結果、車籠埔断層の南部は不安定な高速軟化の性質を示すのに対して、北部は安定な高速硬化の性質を示した。この性質の違いを反映して、地震の破壊(震源)が南部で始まった可能性が高い。

上記の解析から求めた D_c は、地震波の解析から求めた D_c と非常に近い値を示しており、本研究で得られた断層の力学的・水理学的性質に基づいて、集集地震の発生過程をモデリングによって解くことが可能になったと思われる。

論文審査の結果の要旨

1999年台湾集集地震は、死者が2,400名を越える大災害をもたらした。この地震では、長さ約80kmにわたって見事な地震断層が出現し、北部では局所的に断層変位が10mを越えるほど大きかったにも関わらず、地震被害はむしろ変位の小さかった南部よりも少なかった。また、台湾には世界でもっとも密な強震計観測網が展開されており、断層のごく近傍で史上最高と言われる強震記録が得られた。その結果、地震時の断層挙動が詳細に解析され、とくに集集地震を引き起こした車籠埔断層の南部と北部における顕著な挙動の違いが世界的にも注目を集めた。このような断層運動がなぜ起こったかを理解するために、谷川亘氏は、(1)集集地震の震源域とその隣接ガス田地帯における地下流体圧分布の解析、及び(2)車籠埔断層・雙冬断層・水裏坑断層の内部構造の調査とそれら3つの断層帯の力学的・水理学的性質を決める実験的研究をおこなった。

水が地震の発生に与える影響は古くから注目されている問題だが、地下の流体圧分布は推測の域をでていない。谷川氏は、震源域とガス田において地下に分布する堆積岩の水理学的性質を実験室で詳しく調べ、実測した性質に基づいて、過去約3千万年間の堆積作用・間隙水移動・圧密のプロセスを流体の供給を考慮して解析した。その結果、地下4kmまで埋没すると堆積岩は流体をほとんど通さなくなり、閉じこめられた流体が異常間隙圧帯を作っていることを示した。このような実測に基づく解析がなされたのは初めてである。

谷川氏は車籠埔断層の露頭と掘削コア、及びその東方に発達した雙冬断層と水裏坑断層の露頭を詳しく調べ、断層帯の内部構造を明らかにした。また、3つの断層について、水が地震の発生に与える影響を評価するための水理学的性質の測定、地震発生初期のすべりを再現した低速摩擦実験、地震性断層運動を再現した高速摩擦実験をおこなった。その結果、車籠埔断層の北部は高速ほど断層強度が増加する性質（地震が起こりにくい性質）を示すのに対して、南部は断層運動が加速されるにつれて強度が低下するより不安定な性質を示すために、地震の破壊は必然的に南部から始まった可能性が高いことが判明した。一方、3つの断層とも、高速断層運動にともなって、著しい強度低下を示すこと、車籠埔断層の北部は南部よりもほぼ1桁流体を通しにくいことが明らかになった。地震は、断層が動くことによって強度を失い、断層に作用したストレスに耐えきれなくなって発生する。従って、強度低下量と強度低下をおこす断層の臨界すべり D_c が地震時の断層運動を支配する重要なパラメタである（両者がわかれば地震発生シミュレーションが可能）。谷川氏は、実測された高速摩擦と水理学的性質を使って、摩擦発熱による間隙圧の上昇（thermal pressurization）を解析し、地震学的に決まった値と同じオーダーの D_c を得た。車籠埔断層の北部と南部の挙動の違いは、水理学的性質の違いに起因する可能性が高い。断層の性質に基づいて地震学的に決まった D_c が求められた初めてのケースである。

谷川氏のフィールドと実験を融合させた研究によって、集集地震をおこした断層の力学的・水理学的性質の全体像が明らかになった。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。また論文内容とそれに関連した事項について試問をおこなった結果、合格と認めた。