

2016年熊本地震の地震断層調査

田中 均*・吉澤 憲治**・坂口 静磨***・薬師寺 光****

Surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake

Hitoshi TANAKA *, Kenji YOSHIZAWA **, Shizuma SAKAGUCHI *** and Aki YAKUSHIJI ****

(Received September 30, 2016)

We carried out detailed field surveys in the aftershock zone of the 2016 Kumamoto earthquake to ascertain whether surface fault ruptures appeared in association with this earthquake. As the result, we found fractures of the ground surface and destructions of artificial structures at many places in the eastern part of the Mashiki Town. These surface fractures found along two NE-SW and E-W trending lines in the area 1500m long and 500m wide. The surface fractures strike $N65^{\circ}\pm 15E$ and have right-lateral strike displacements of 45-220cm. The another surface fractures strike E-W and have left-lateral strike displacements of 10-30cm or more. These two fault systems were simultaneously formed in case of the Kumamoto earthquake. Furthermore, the fault is roughly E-W strike, characterized by many Riedel fractures that show shapes of mole tracks accompanying main sinistral displacements.

Now, the teaching-materials development about the earthquake for junior high and high school students is recommended using the results of an investigation of the Kumamoto earthquake.

Key words : right and left-lateral strike displacements, Riedel fractures, Kumamoto earthquake

1. はじめに

2016年4月に熊本地方を襲った大地震（「平成28年（2016年）熊本地震」気象庁による命名）は、未曾有の被害をもたらした。熊本県上益城郡益城町では、4月14日午後9時26分のマグニチュード（M）6.5の地震と4月16日午前1時25分のM7.3の地震で、震度7の大きな揺れが2度発生した（図1）。熊本地震が特異なのは、28時間後に同じ場所で震度7の揺れを2度観測されたことであり、日本の観測史上初めてである。日本列島周辺では、震度7程度の地震は年間1-2回発生しているが、内陸部でM7.3の地震は1995年の兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）、2000年鳥取県西部地震以来である。

熊本地震は熊本県に分布する布田川断層帯及び日奈久断層帯の一部で発生した（地震調査研究推進本部・地震調査委員会（2016.5.13の評価））。この地震では、地表に大きなずれ（地震断層）が出現している。布田

川断層帯に沿う益城町東域の堂園地域、下陣地域および嘉島町北甘木地区および日奈久断層帯に沿う御船町

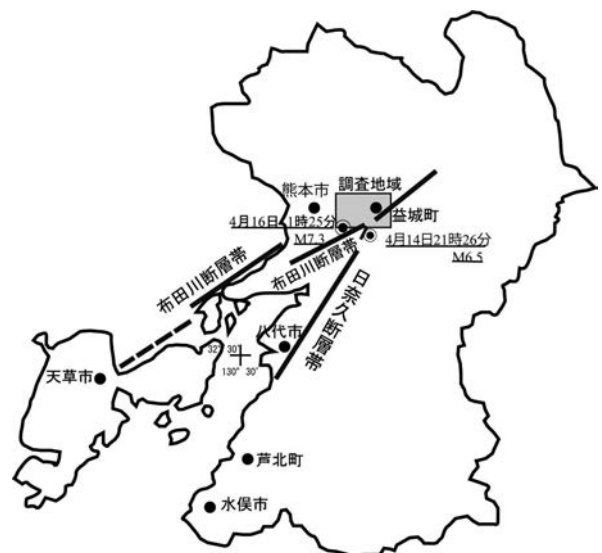


図1 調査位置図

* 熊本大学教育学部理科（地学）
** 熊本市東区尾ノ上1丁目27-19
*** 熊本大学教育学部附属小学校
**** 熊本市立城東小学校

高木地区、平成音楽大地区で地震断層と考えられる地表面の断裂や地震断層の変位に起因すると考えられる人工構造物の変形・破壊を複数の地点で見出した。本論文では、現地調査の結果を報告するとともに、今回、下陣地域に出現した地震断層の特徴について考察を行った。さらに、中・高校生を対象とした地震に関する教材開発の進捗状況について言及する。

2. 現地調査の概要

調査地域の下陣地域は益城町の東域に位置し、そのさらに東方延長部に、今回の地震で長さ約 500m、水平変位が最大 2.2m の右横ずれ地表地震断層が出現した堂園地域が位置している (図 2)。

下陣地域は 2 系列の地表地震断層および引張り割れ目群が出現している (図 3)。大きな水平変位を示す $N65^{\circ} \sim 55^{\circ} E$ 系列 (以後 $N65^{\circ} E$ 系と呼称) の断層は、長さ約 150m、水平変位約 50cm、鉛直変位約 40cm を示す右横ずれ断層である。この右横ずれ断層沿いに



図 2 益城町堂園地域に現れた約 2.2m の右横ずれ地表地震断層

は、左雁行した引張り割れ目群 ($N87^{\circ} E \sim N82^{\circ} W$) が生じている (図 4-c)。この地震断層の北東部では、その北側が隆起している。

一方、 $N62^{\circ} \sim 55^{\circ} W$ 系列 (以後 $N62^{\circ} W$ 系と呼称) の右雁行配列引張り割れ目群は、長さ約 400m にわたって断続的に連続し、水平変位が 8 ~ 15cm、鉛直変位が 0 ~ 15cm (東側で隆起) をそれぞれ示し、左



図 3 下陣地域に出現した 2 系列の地表地震断層 (a~h は写真撮影地点)



図4 N65° E系列地表地震断層に見られる変位
 a: 水平変位約 50cm, 垂直変位約 40cm の右横ずれ断層 (北側が隆起) b: 金山川の護岸の右横ずれ変位
 c: 左雁行配列の開いた割れ目

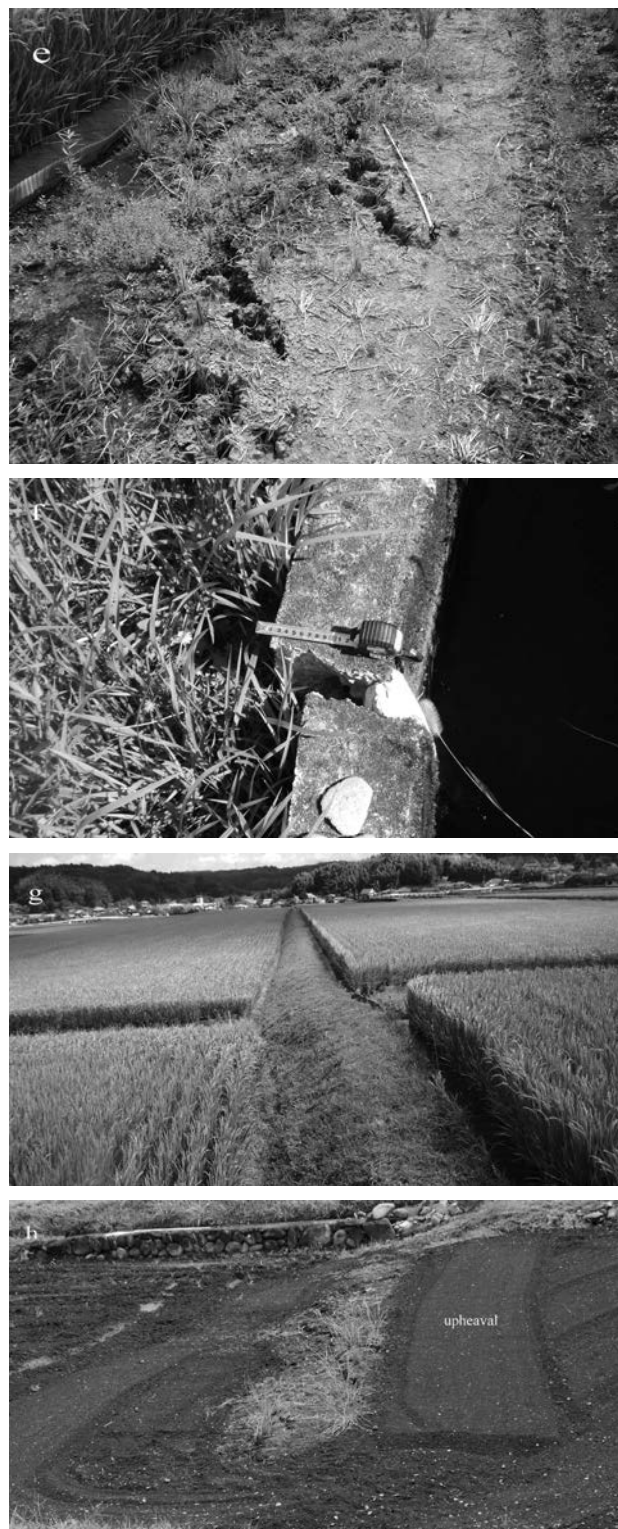


図5 N62° W系列地表地震断層に見られる変位
 d: 畦道の左横ずれの変位 e: 右雁行配列の開いた割れ目 f: 側溝の左横ずれの変位 (変位約 8cm) g: 畦道の左横ずれの変位 h: 右側が隆起

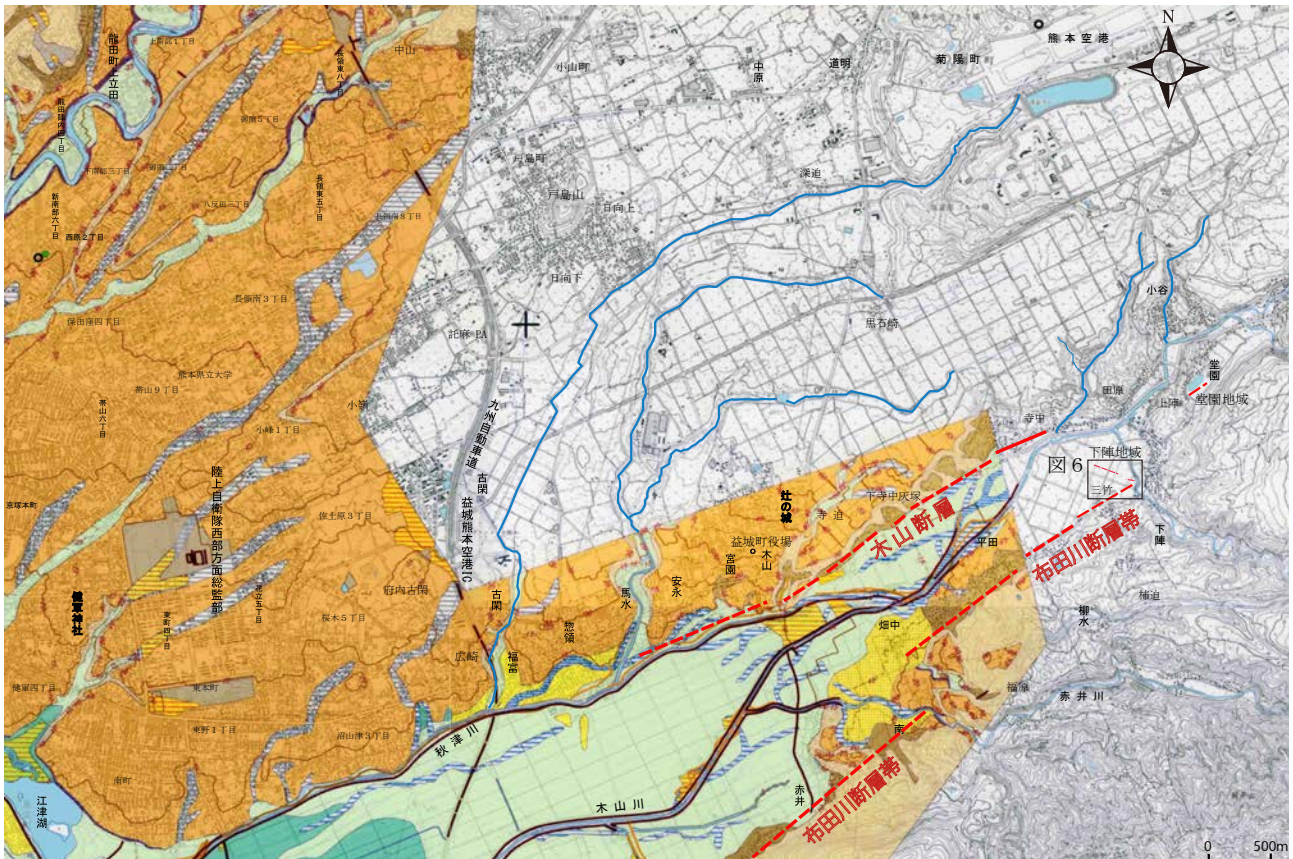


図6 治水地形分類図(国土地理院)更新版(平成19年度~)の閲覧 引用加筆

表1 治水地形分類図 取得地形分類一覧

(自然地形)					(人工改変地形・その他の地形等)							
大分類	中分類	小分類	細分類	図の凡例	大分類	中分類	小分類	細分類	図の凡例			
自然地形	山地				人工改変地形		平坦地					
		台地・段丘	段丘頂				人工改変地形	盛り土・埋立地				
			崖(段丘崖)				切土					
			窪み谷				埋戻し土					
	低地	山麓堆積地形					その他の地形等	天瀬川の区間				
			扇状地	扇状地					日本橋			
				微高地(自然埋積)					旧河床・水溜			
				扇状地		旧河床(明確)				旧河床	5,30年代 後半~ 1,40年代 前半	
			旧河床(不明瞭)					5,20年代				
		氾濫地	氾濫地(自然埋積)	旧河床					旧河床	1,東期~ 7,前期		
				旧河床(不明瞭)						1,東期~ 7,前期		
			埋積							主曲線		
				氾濫平野							地盤高線	
			氾濫地(自然埋積)	旧河床						補助曲線		
				旧河床(不明瞭)								
埋積												
	後背湿地											
砂州・砂丘												

横ずれ断層帯であることを示唆する。この右雁行配列引っ張り割れ目群 (N82° E ~ N82° W) は、割れた面に垂直方向に離れるため、そこに空間が出来ている(図5-e)。さらに、この引張割れ目群の東方延長部は、南側が隆起した性状を示している(図5-h)。この他、畦道の左横ずれの変位(図5-d, g)や側溝の変位(図5-f)等で、そこに左横ずれ断層が位置していることが判る。

3. 議論

3-1. 右横ずれ断層と左横ずれ断層との関連性

熊本地震を起こした力は、4月14日のM6.5の地震では、ほぼ東西方向に最大圧縮力、南北方向に最小圧縮力が働き、北東-南西方向の日奈久断層帯の一部が右横ずれ断層運動を起こした。さらに、16日のM7.3の地震では北東-南西に最大圧縮力、北西-南東に最小圧縮力が働き、ほぼ東西方向の布田川断層帯の東部域が右横ずれ断層運動を起こしたとされている。

しかしながら、下降地域の地表地震断層の出現状況は、布田川断層帯の右横ずれ断層と副次断層のN62° W系列右雁行配列引張り割れ目群が認められる。な

お、右雁行配列引張り割れ目を「左ずれ雁行割れ目」と呼ぶこともある。

これら N65° E 系列と N62° W 系列の断層群や割れ目群はどのような関連性があるのか、ここで議論する。

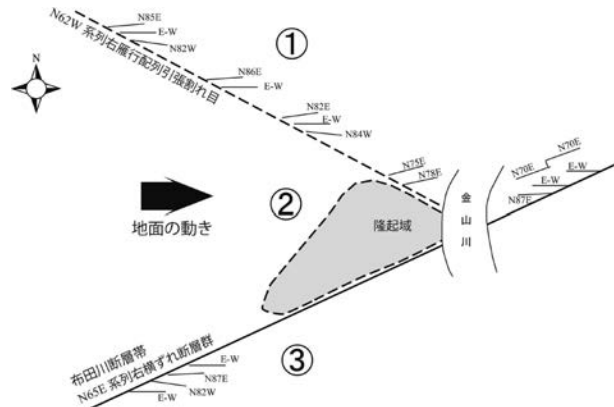


図7 下陣地域に出現した右横ずれ断層群と右雁行配列引張り割れ目群との関係を表した概略図

図7の②の地盤が矢印の方向（東側）に動いた場合、③の地点から②の地盤の動きを見ると N65° E 系列地表地震断層は右横ずれ断層、一方①の地点から②の地盤の動きを見ると N62° W 系右雁行配列引張り割れ目群は左横ずれ断層となり、これらの断層は同時に形成されたことが理解できる。一方、これら2系列の断層系のように、方向が53°～70°違っていて、その向きが逆になっている断層は、同じ応力状態で同時に生じることができるので、互い対をなす共役断層と呼ばれることもある。しかしながら、下陣地域では図3および7で示すように N65° E 系列地表地震断層が N62° W 系引張り割れ目群を切ってさらに東方に連続しているのが確認できるものの、N62° W 系引張り割れ目群の延長がそれを切ってさらに東側に連続している割れ目などの地変を確認できなかった。

さらに、②の地盤の動きから、それらの断層が交わる付近（金山川西側）では、隆起域が確認出来た。

3-2. 治水地形分類図

図6の治水地形分類図（国土地理院）最新版を見ると熊本市内では、NE-SW 方向の多くの旧河道や旧流路が位置していたことが窺える。この NE-SW 方向の河川は、益城町が位置している段丘面を流下し秋津川と合流する河川方向と調和的である。これら NE-SW 方向の河川の分布から左横ずれ断層が示唆される。この地域に分布する本山断層の性状から、地下に伏在する本源断層を推定することができ、筆者らはこの本源断層が過去に大きく左横ずれ断層運動を起こした可能性が高いと考えている。

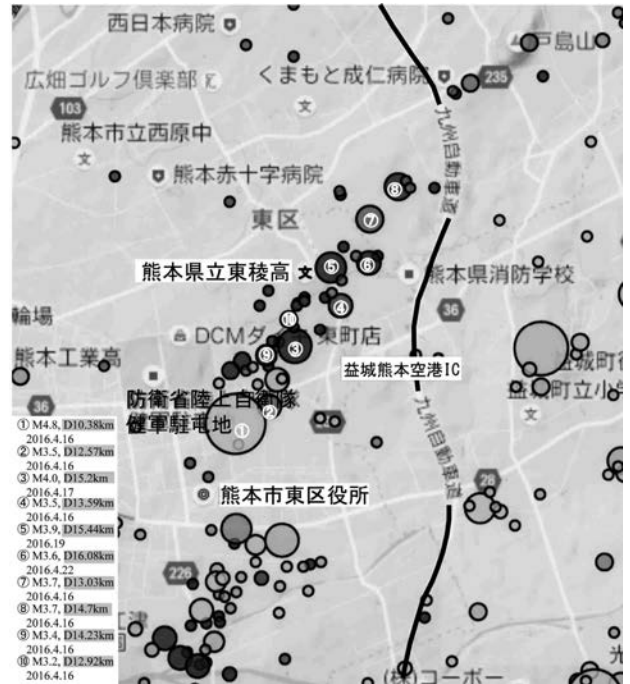


図8 余震の震央分布図 平成28年(2016)熊本地震および関連情報 産業技術総合研究所から引用・加筆

さらに、図8の余震震央分布図では、防衛省陸上自衛隊健軍駐屯地付近から NE-SW 方向に細長く伸びて余震域が広がっており、震源の深さも約 10～16km を示している。これらの事実から、そこに走向 NE-SW、傾斜がほぼ鉛直の断層面が存在していることが窺える。これらの事象と河川の NE-SW 方向の河川の分布は、左横ずれ断層に伴う、引張り割れ目あるいは剪断割れ目と考えられる。

3-3. 熊本地震の教訓

2度の震度7を続けて経験した熊本地震の教訓は、最初の大きな揺れを被った地域では引き続いて強い地震動に見舞われる可能性が高く、地震が起こった2～3日は被災した家屋に戻ってはならないということである。今回の地震で犠牲になられた人の死因の多くは家屋の倒壊による圧死と報告されている。せっかく避難されても、その後避難場所が混雑してきたため、自宅に戻られて亡くなられた方が多くいたと報告されている。人的被害を減らすためには、建物の耐震化を進める必要がある。熊本で発生した地震は、日本全国どこでも起こり得るものであり、耐震化した公共施設(学校・体育館・公民館・役場)や運動広場等の建設を早急に講じる必要がある。

4. 地震教材について

小・中学校の教科書や資料集を見ると、地下の基盤に生じた断層のずれが地表にまで直線的に現れている写真が載せられている。しかし、実際には大きな地震が起こったにも関わらず、活断層が位置している付近の地表に何の変状も無かったり、雁行状の地割れや地表地震断層が現れたり場所によって状況は様々である。そこで、基盤の断層のずれがなぜ地表地震断層として現れたり、現れなかったりするのかが観察できる教材があれば、子ども達の断層に対する見方・考え方を広げられると思ひ、教材開発を行った。

また、この他にも内陸に出現する横ずれ断層がプレート運動に関連させて考えることができるような教材も同時に開発した。さらに、断層のモデル化では2016年熊本地震で実際に地表地震断層が走っている益城町下陣地区を調査し、断層による変位や地震の発生メカニズムを教材化できるかを検討した。

4-1. 割れ目の雁行配列

割れ目を追跡していくと、1本の割れ目が消えると左右にずれた位置から新しく割れ目が始まる。さらに、追跡すると次の割れ目も前と同じようにずれた位置に現れる。このような割れ目の配列は、雁の群れが編隊を組んで飛ぶ時に似ているので、割れ目の雁行状配列、あるいは雁行断層（群）と呼ばれている。

雁行割れ目は2種類の並び方がある。一つは一本の割れ目を末端までたどって行くと、次の割れ目が右側にある場合を『右雁行』といい、また『ミ型雁行』とも呼ばれている。これはミの字が右雁行になっているためである。もう一つは、次の割れ目が左に位置する場合で『左雁行』あるいは『杉型雁行』と呼ばれている（図9）。

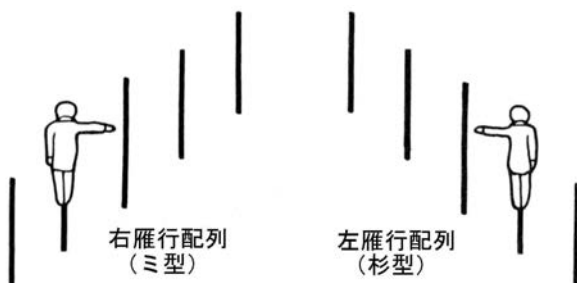


図9 雁行配列（地震と活断層の本（1995）より引用）

4-2. 雁行割れ目及びプレッシャーマウンド

横ずれ断層が形成されたときに地表への特徴的な現れ方として雁行割れ目とプレッシャーマウンドと呼ば

れるものがある。これらは応力と関係しており、藤原（1932）はこれらの関係を「雁行法則」としてまとめた。ここで、雁行法則を一つの長方形で考えてみると、横ずれ運動によってBとDからは引っ張りの力が、AとCからは圧縮の力が生じる。この引っ張りの力によって雁行割れ目ができ、圧縮の力によってプレッシャーマウンドができるとされている（図10）。

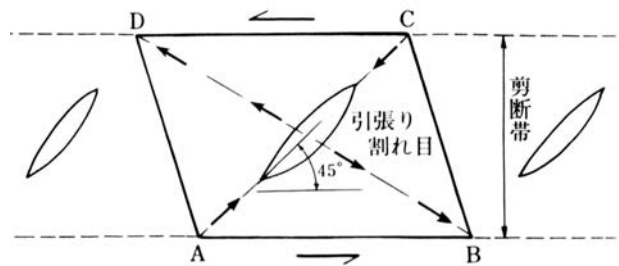


図10 リーデル剪断実験による粘土層の上の変形と引張り割れ目の形成（地震と活断層の本（1995）より引用）

雁行割れ目を横ずれ断層と関連させると、右ずれ断層では左雁行配列引張り割れ目群が生じ、左ずれ断層では右雁行配列引張り割れ目群ができる。例えば、右雁行配列引張り割れ目による地盤の変位は、割れ目帯の方向に沿う成分を考慮すれば、左ずれ変位となる。

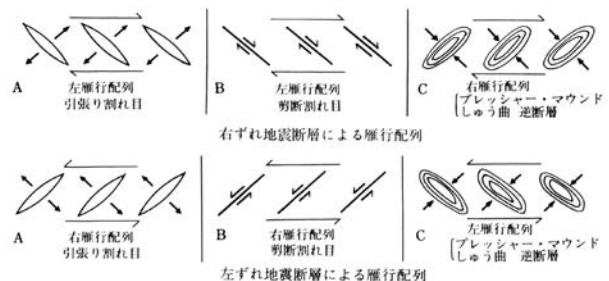


図11 右ずれおよび左ずれ地震断層による雁行配列（地震と活断層の本（1995）より引用）

すなわち、雁行割れ目帯の地下の岩盤に生じた断層は、一本の剪断割れ目のようなずれ方をしている。左雁行配列割れ目は、右ずれ断層の特徴を持つことから、左雁行配列割れ目を『右ずれ雁行割れ目』と呼ぶ場合がある。「ずれ」という言葉が入ると右と左が逆になるので気をつけて使用していただきたい（図11）。

4-3. リーデル剪断実験

断層の教材開発は、すでに「横ずれ断層の教材化」（田中ほか、2010）で雁行割れ目等が観察できるリーデル剪断実験を参考にして断層モデルの開発を行っている。本稿ではそれに加筆して報告する。

リーデル剪断実験とは、2枚の木の板の上に粘土を

のせて板をずらしたときに表面にできる割れ目の様子を観察する実験である（図12）。

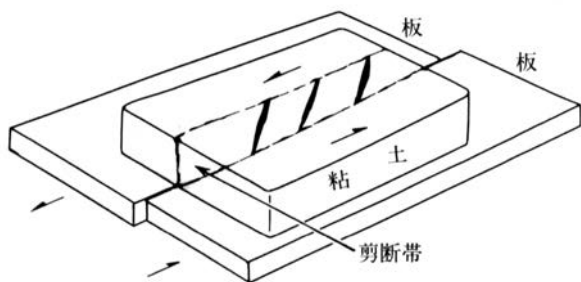
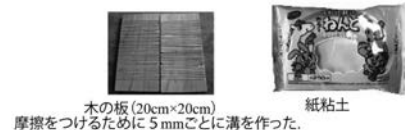


図12 リーデル剪断実験（地震と活断層の本（1995）より引用）

しかし、粘土を乗せて実験してみるとなかなか割れ目が現れにくいことが分かった。そこで、材料から選びなおし、最も観察しやすい条件を探ることにした。

【材料】

木の板(20cm×20cm), 木の枠(15cm×15cm×1cm), のし棒, 紙粘土



【手順】

1. 板の上に高さ1cmの木の枠を乗せ、紙粘土を入れる。
2. のし棒を使って紙粘土を表面を滑らかにする。
3. 紙粘土が板から外れないようにゆっくりと木の枠を外す。
4. そのまま放置して時間を図りながら実験する。

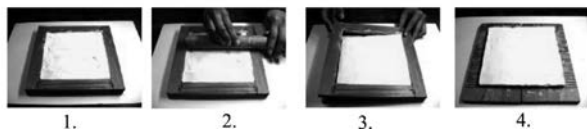


図13 リーデル実験の手順

まず、材料であるが、学校現場でも使える教材という観点から学校や家庭などで比較的手に入れやすい材料から選んで実験を行った。その結果、紙粘土の表面が少し乾燥した状態のときに割れ目等が現れ易い事が分かったので、材料を紙粘土に絞りその他の条件を調べることにした。

表面の乾燥時間は自然乾燥にすると温度や湿度によってまちまちになるためドライヤーで乾燥させるのがよい。時間も1～5分乾燥させて実験してみたが、2、3分乾燥させるのが観察しやすいことが分かった。

また、紙粘土の厚さ、ずらす速さ、紙粘土の種類など変えて実験を行った。紙粘土の厚さが2cm以上では、板に溝を彫って摩擦を作っても紙粘土が板からはずれてしまうので、約1cmが適していることが判った。ずらす速さはゆっくりずらしても瞬時にずらしても表面の様子はあまり変わらないが、表面の様子をじっくり観察させるためにゆっくりずらすほうが良

い。紙粘土の種類は軽い紙粘土ですべて観察できたので、この材質が実験に適していることが分かった（図13）。

以上の結果をまとめると、材料には軽い紙粘土を使い、厚さは約1cmに調整して、表面を2、3分ドライヤーで乾燥させ、ゆっくりずらして観察すればよいことが判った（図14）。

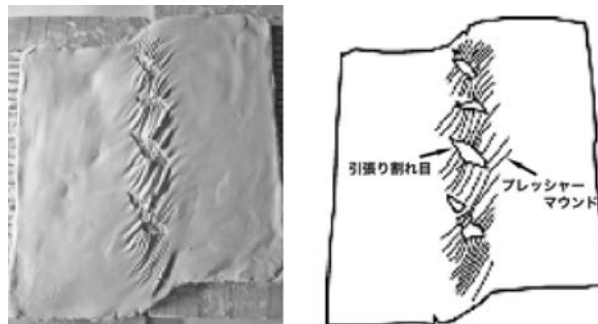


図14 実験結果の写真（左）とイラスト（右）

4-4. プレート運動と横ずれ断層運動のモデル

今年4月14日と16日に熊本地震が発生した時、なぜ内陸部で地震が発生するのかという質問を附属幼稚園の保護者から受けました。それに答えるための教材を紹介します。

ここでは、中央構造線を例にプレート運動と横ずれ運動との関係を視覚的に理解できるように、写真のようなモデルを開発した（図15）。

これは、中央構造線を境に本州側の内帯と四国側の外帯を用意し、内帯側を固定して、プレートに見立てた紙等を斜めにスライドさせることで、中央構造線が横ずれをおこす様子が観察できるものである。ベルトコンベアーようなくみにすることで紙を何度も回転させることができるとともに側面に割り箸をつけることでプレートに見立てた紙と中央構造線とのなす角度を変えることができる。また、紙が中央構造線に対して直角に沈み込む時は、横ずれ運動がおきないことも



図15 プレート運動と横ずれ断層運動の関係を示すモデル

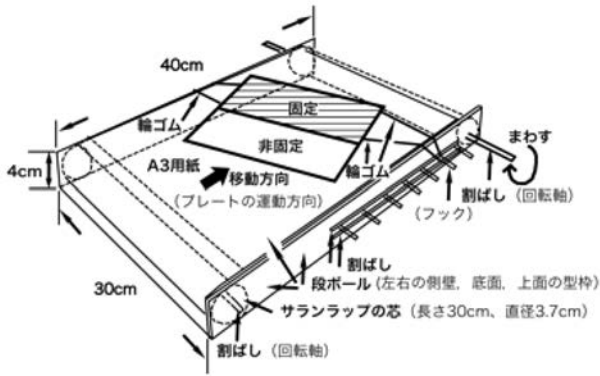


図 16 開発した横ずれ断層モデルのイラスト

観察できるようになっている。

図 15, 16 のように本州側の内帯を固定して、四国側の外帯を非固定して配置した後、プレートに見立てた紙を割り箸を回して移動させると、図 17 のように四国側の非固定の外帯が右に移動するのが観察できる。



図 17 内陸部に出現する横ずれ断層とプレートの運動

このモデルを現在の西南日本のプレート論に置き換えると、フィリピン海プレートが四国沖の南海トラフに左斜め沈み込み運動をする場合は、中央構造線は右横ずれ運動を起こし、右斜め沈み込み運動をする場合は、中央構造線は左横ずれ運動を起こす(図 17)。すなわち、プレート運動と内陸型地震の発生は、密接な関係があることがわかる。

今後は、このような実験教材を活用した授業実践を行い、生徒達が自ら課題を見付け、開発した断層モデル実験を通して自分の考えを検証し、取りまとめて発

表するといった能力を育成していきたいと考えている。また、これら教材を使った実験を通して、教科書や資料集だけでは分からない断層の地表への現れ方が理解できるようになり、断層に対する見方や考え方も広がると期待している。

5. まとめ

- (1) 益城町下陣地域に出現した、規模の大きな N65° E 系右横ずれ断層(布田川断層帯)と比較的小規模な N62° W 系左横ずれ断層はほぼ同時に形成されたと考えられる。
- (2) 右横ずれ断層系には、左雁行引張り割れ目が出現し、左横ずれ断層には右雁行引張り割れ目が現れることを確認した。
- (3) 熊本市内には NE-SW 方向の多くの旧河道や旧流路が位置していたことが窺える。この NE-SW 方向の河川は、益城町が位置している段丘面を流下し秋津川と合流する河川方向と調和的である。これら NE-SW 方向の河川の分布から左横ずれ断層が示唆される。この地域に分布する木山断層の性状から、地下に伏在する本源断層を推定することができる。
- (4) 地下に伏在する本源断層は過去に左横断層運動を引き起こした可能性が高い。
- (5) リーデル剪断実験を行う実験手順を次のように明らかにした。
 - ・材料には軽い紙粘土を使用する。
 - ・紙粘土の厚さを 1cm にする。
 - ・ずらす前にドライヤーで表面を 2~3 分乾燥させる。
 - ・表面の様子を観察させるためにはゆっくりずらす。
- (6) 内陸部で発生する地震はプレート運動で説明できるモデルを開発した。

参考文献

小出 仁・山崎晴雄・加藤席一(1995):地震と活断層の本, 国際地学協会, 1-123
 田中 均・坂口静磨・薬師寺光・本多栄喜・村本雄一郎(2010):横ずれ断層の教材化 -理論と実践- 熊大教育実践研究, 第 27 号, 85-90
 文部科学省(2008):「小学校学習指導要領解説 -理科編 - (平成 20 年 8 月)」大日本図書 1-105
 文部科学省(2008):「中学校学習指導要領解説 -理科編 - (平成 20 年 9 月)」大日本図書 1-149