梁山断層 (韓国東南部) 中央部の活断層地形とトレンチ調査

岡田 篤 正* 渡辺 満 久** 佐藤 比呂 志***
全 明 純**** 曹 華 龍***** 金 性 均*****
田 正 秀**** 池 憲 哲**** 尾 池 和 夫*

Active Fault Topography and Trench Survey in the Central Part of the Yangsan Fault, Southeast Korea

Atsumasa OKADA*, Mitsuhsa WATANABE**, Hiroshi SATO***,
Myung-Soon JUN****, Wha-Ryong JO*****, Sung-Kyun KIM*****,
Jeong-Soo JEON****, Heon-Cheol CHI**** and Kazuo OIKE*

Abstract

Many distinct lineaments have been recognized by Landsat images in Korean Peninsula. The Yangsan fault system situated in the southeastern part of Korea is especially linear, continuously traceable for a long distance (about 200km), and particularly remarkable among these lineaments. The topographic expression of the Yangsan fault system is derived from the straightly stretching fault valley with wide shattered zones in the direction of NNE-SSW. This fault system extends for about 200km from the mouth of the Nagdong River west of Busan in the south to Yeondong in the north, and geologically separates Korean Peninsula from the Japan Sea. The amount of horizontal displacement may reach 30km. It is recognized as one of the most important faults in Korean Peninsula.

From the interpretations of aerial photographs, and field surveys along the central part of the Yangsan fault system, the main results are summarized as follows:

1. The Yangsan fault system has repeatedly moved in the late Quaternary. The lower to higher river terrace surfaces on this system show cumulative vertical offsets.
2. The vertical component is upthrown on the east side from considering the terrace offset and the distribution of the mountainous lands. This vertical movement is reverse to the topographical situation on the meso-scale.
3. The fault trace is extremely straight. The fault plane is almost vertical. The shattered

---

* 京都大学理学部地球物理学教室

** 東洋大学文学部教育学科地理学研究室

*** 東京大学地震研究所地震地質研究室

**** 韓国資源研究所

***** 慶北大学校師範大学地理学科

***** 全南大学校自然科学大学地質学科

* Geophysical Institute, Faculty of Science, Kyoto University

** Geographical Laboratory, Faculty of Literature, Toyo University

*** Seismogeology Sec., Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

**** Korea Institute of Geology, Mining and Materials

***** Department of Geography, Kyungpook University

***** Department of Geology, College of Natural Sciences, Chonnam National University

zone exceeds tens of meters in width with a remarkable fault gouge.

4. The longer axis of flat clasts within the gravel observed in excavated the exploratory trench showed the re-arrangement along the fault. The predominantly right-lateral movements were recognized as the elongation of clayey parts and breccias in the fault gouge.

5. From these characteristics, the Yangsan fault was clarified to be active with predominantly right-lateral movement. Estimated ages of terraces and its deposits give average rates of vertical and right slip on the Yangsan fault system at about 0.02~0.03mm/y, and at least 0.05~0.1mm/y, respectively.

6. The fault topography is not found on the lower and lowest terraces. As the surface of the terrace has widely been cultivated as paddy fields for long historical time, lower fault scarplets less than a few meters high might have been modified or destroyed by the human actions. Therefore, we cannot mention the existence of the younger movement on the lower and lowest terraces.

I. はじめに

韓半島には、いくつかの明瞭なリニアメントが Landsat 映像により認められている (Kang, 1979, 1981; 星野・村岡, 1982)。それらの中でもとくに、韓国東南部の梁山 (Yangsan) 断層 (系) に沿うリニアメントは直線性が顕著であり、延長距離も長く、もっとも鮮明なものとして注目されている (星野, 1981, 1982; Hoshino *et al.*, 1984; 禹, 1984; Yoon and Kim, 1990)。

これらのほとんどは基盤岩石中の断層に起因する (韓国地質鉱物研究所, 1973; 立岩, 1976; 韓国動力資源研究所, 1981, 1985; 李, 1983)。梁山断層 (系) は、韓半島の東南部を北北東—南南西方向に走る、とくに大きな断層である (図1)。これに沿っては、直線状に延びる明瞭な断層谷が伴われ、東西両側の山地高度や山地の形状も大きく異なる。この主断層と多少斜交するものも含めて数本が群をなして連なるので、梁山断層系ないし梁山断層帯と呼ぶのが適当である。

梁山断層系は、釜山 (Busan) 西方の洛東江 (Nagdong-Kang) 河口から、北方の盈徳郡柄谷面 (Byungkok-Myun) 榮洞 (Yeondong) 付近にまで連なり、陸上部での全長は約200km に及ぶ。また、本断層系は対馬の西方海底を北北東—南南西方向に延びる対馬断層 (村内・浅沼, 1969; 南, 1979; Nash, 1979; 桂, 1992) とともに、地質構

造の上で日本海と東シナ海を隔てている。この断層系に沿って基盤岩石に幅広い断層破碎帯が伴われており、それらの食い違い量も大きいことなどから、この断層系は韓半島ではもっとも大規模であり、地質構造上重要な断層であるとされてきた (Um and Reedman, 1975; 星野, 1985 a, b)。さらに、この梁山断層系の両端は海底部にも延び、総延長は陸上部の倍以上と長く連続する。日本海の形成にも大きく関与した断層として、その重要性は早くから多くの研究者によって指摘されている (Silitoe, 1977; Otsuki and Ehiro, 1978; Lallemond and Jolivet, 1986; Jolivet *et al.*, 1991)。

梁山断層系の活動時期については、近年日本海の形成との関連から検討され、42~14Ma に活動したものと推定されている (Jolivet *et al.*, 1991)。韓半島南方海域における調査によれば、梁山・対馬断層系などの北北東—南南西方向の断層では、中新世以降における活動が報告されている (星野, 1985 b; 桂, 1992)。さらに、更新世以降における活動も衛星画像の鮮明さなどから予測されている (星野, 1985 b; Yoon and Kim, 1990)。また、地震活動との関連でもその活動が論究されている (Kim *et al.*, 1986; 星野, 1989; Lee and Jim, 1991)。しかしながら、梁山断層系に沿う第四紀後期の運動については、地形・地質学的調査に基づく直接的な証拠に乏しく、不明のままに残され

図 1 韓半島南東部の地質概略図 (Um and Chun, 1984による)

1. 第三系砕屑岩, 2. 上部白亜系～下部第三系火成岩, 3. 上部中生界 Gyeongsang 盆地堆積物 (砕屑岩), 4. 上部中生界 Yucheon 火山岩類, 5. 第三紀火山岩類, 6. 断層

Fig. 1 Geological sketch map in the southeastern part of Korea (after Um and Chun, 1984)

1. Tertiary basin deposits, 2. Late Cretaceous to early Tertiary igneous rocks, 3. Late Mesozoic Gyeongsang Basin deposits, 4. Late Mesozoic Yucheon volcanics, 5. Tertiary volcanics, 6. fault

てきた。

筆者らは、とくに梁山断層系の中央部において、空中写真や地形図（縮尺：2.5万分の1および5万分の1）を詳しく判読し、現地地地形・地質学的な調査を実施した。これらによって、断層変位地形や地質（構造）の特徴など、梁山断層系の第四紀後期における活動性について、いくつかの成果を得たのでここに報告する。

II. 韓半島東南部の地形・地質概要と梁山断層系

1) 地形概要

韓国東南部は山地と低地が交錯し、いわゆる“満壮年期”状の地形が広く展開する。千数百mより高い峰を有する山地はなく、多くの山地に細分され、山地塊が散点的に広がる。これらの斜面

図 2 調査域の地形概形と梁山主断層

25万分の1地勢図より等高線間隔100mを抽出。梁山主断層に沿う枠は図4～6の範囲を示す。断層線は梁山主断層のみ記入。Onyangの地名は本文中の彦陽(Eonyang)に同じ。

Fig. 2 Topography around the central part of the Yangsan fault system

The contours at 100m intervals are drawn from the topographic map sheets of 1:250,000 scale. Boxes along the Yangsan fault indicate the location of figures 4-6. Only the Yangsan main fault is shown on this map.

は比較的急傾斜であるが、山麓部にはベディメント(ないし岩石床)状の緩斜面が分布する場所も多い。河床部は沖積平野面が幅広く発達し、現河床からの比高の小さい河成段丘面が部分的に認められる。

梁山断層系の周辺では、山地(斜面)そのものは比較的急峻であり、その西側と東側とでは山地の高度が異なる。西側山地の最高高度は1,000m

以上に達するが、東側では約500m以下の丘陵性山地が広がっている。梁山断層系の東側、蔚山(Ulsan)周辺では、とくに山地高度は低くなり、標高100m前後以下の多数の孤立峰が分布する。

呉(1977)は韓半島の東南部海岸に分布する海成段丘面とその堆積物を調べ、それらの地形発達史を考察した。それによれば、平坦面は高位・中位・低位の海成段丘面と低位・海底平坦面に分け

図 3 彦陽 (Eonyang) 周辺の地質図と活断層 (Hoshino *et al.*, 1984に加筆)
 Fig. 3 Geological map of the Eonyang area (after Hoshino *et al.*, 1984, and modified by the authors)

られ、中位面形成後に蔚山断層 (慶州から蔚山湾に延びる構造谷北東縁に沿う断層) を境として北側が約10m南側に対して隆起しているが、低位段丘面形成後にはこの断層の動きは認められないとしている。また、浦項 (Pohang) 湾東南の海岸線に沿っても、北東-南西方向の毛里嶺 (モリリョン Moriryung) 断層が走り、半島部と湾入部のブロック的な構造運動が生じたとみなしている。

本調査地域は、韓国東南部の、日本海から20~30km 程度内陸に入った所であり、慶尚南道蔚山郡彦陽面彦陽 (Eonyang) から南方の梁山郡下北面薄地里付近にかけての地帯である (図2)。この地域には新旧数段の河成段丘面が広範に分布し、この断層系の第四紀後期の運動を検討する上でもっとも適した地域である。東流して蔚山湾へ注ぐ太和江と、南流して洛東江へ注ぐ梁山川の流域とに属する。太和江流域の彦陽付近から梁山川流域にかけては北北東-南南西方向に台地と低地が連なり、その中央部を梁山断層系が延びている。こ

こは梁山断層谷のほぼ中央部に相当する (図2)。

2) 梁山断層系と周辺の地質

梁山主断層の東側は一般に標高500m以下の丘陵性山地をなし (図2)、この山地は下部白亜系の河陽層群 (Hayang Group) に相当する非海成の砕屑岩から構成される (Lee, Y. J. and Lee, I. K., 1972)。また、これを貫いて白亜紀後期に貫入した仏国寺 (Bulgugsa) 花崗岩類が分布する (津末, 1976; 図3)。主断層の西側は標高1,000mを超える急峻な山地形を形成し、主に白亜系楡川層群の安山岩を主体とする火山岩類と、東側に比べて広範囲に分布する仏国寺花崗岩類からなる。

3) 梁山断層

梁山断層系の周辺には主に白亜系の岩石が分布するが (図1)、断層を隔てた地質の対応関係から、その水平変位量が推定されている。Choi *et al.* (1980) は、梁山断層の中央部、慶州 (Gyeongju) および蔚山 (Ulsan) 地域において、右横ずれ量は約25kmと推定している。また、Chang *et al.*

(1990) は、梁山断層の北部での右ずれ変位量を35 km と見積っている。

梁山断層系の断層面の傾斜については、断層露頭での観察 (Kim *et al.*, 1971; Hoshino *et al.*, 1984; Lee *et al.*, 1986) や物理探査の結果 (Kim and Lee, 1987, 1988) から、ほぼ垂直とみなしている。梁山断層系は幅の広い断層破碎帯を伴い、破碎帯はカタクラスティックな変形が卓越しており、断層ガウジを主体とする。これらの破碎帯の中から従来報告されてきた断層条線は、ほぼ水平ないし低角のものが多く (Hoshino *et al.*, 1984; 星野・村岡, 1982; Lee *et al.*, 1986)。

梁山断層系の活動時期については多くの議論がなされている (Silitoe, 1977; Otsuki and Ehiro, 1978; 星野, 1985 b; Chang *et al.*, 1990; Yoon and Kim, 1990; Jolivet *et al.*, 1991; Yoon, 1992)。Chang *et al.* (1990) は梁山断層系の北部で、この断層が45Ma 前後の放射年代値を示す地境洞火山岩 (Jigyung-dong volcanics) の珪長質凝灰岩に変位を与えていることから、断層の活動時期は 45Ma 以降であるとみなし、中新統の延日層群 (Yonil Group) がこの断層を覆って分布していることから、中新世以降では梁山断層系の主要な活動が終息したと考えた。また、Jolivet *et al.* (1991) は、浦項 (Pohang) 付近に分布する下部中新世の岩脈の研究 (Lee and Pouclet, 1988) や梁山断層系の東側に分布する第三系などの古地磁気学研究 (McCabe *et al.*, 1988; Kim and Yoon, 1988) などから、梁山断層系の活動時期を42~14Ma と推定している。

梁山断層系の断層運動の終了時期については、これを覆って分布する上部新生界が少ないため、必ずしも明瞭ではなかった。しかし、大規模な変位は後期中新世以降に及んでいないとする見方 (Hoshino *et al.*, 1984) が一般的であったといえる。

III. 河成段丘面の区分と対比

梁山断層系の周辺に分布する河成段丘面は、平坦面の高度・連続性・開析度、段丘礫層の風化の程度、および赤色土壌の発達程度などから、高位面・中位面・低位面・最低位面に区分・対比され

る。韓国東南部と済州島の一部 (町田ほか, 1983) および浦項付近 (曹, 1978) において、九州起源の鬼界アカホヤ (K-Ah) や始良丹沢火山灰(AT) の分布が確認されている。AT は本地域に近接した2つの遺跡内の地層に認められたが、地形面や段丘堆積層との直接的な関連などはまだわかっていない。本地域内では、これらのテフラやレスあるいは化石などの、段丘面やその構成物の年代や分類に有効な資料が得られないため、確実な区分や対比に関しては今後さらに検討していく必要がある。

これらの河成段丘面の発達は、梁山断層系の中央部の蔚山郡彦陽面彦陽の南方地域 (図2) において、とくに良好である。また、梁山断層の活動を示す断層変位地形および地質構造も、この地域を中心として認められたので、以下ではこの地域の河成段丘面について述べる。

1) 高位面

高位面は開析が進んでいるため、平坦面の平面的分布形は樹葉状になっており、その面上には一般に波浪状の起伏がみられる。また、その構成層である段丘礫層は著しく風化し、いわゆる“クサリ礫”となり、地表では顕著な赤色土壌に覆われている。

三南面水南里 (Sunam-Ri) ~三南面校洞里 (Gyodong-Ri) においては、太和江 (Taehwa-Kang) とその支流である酌川川 (Chakcheon River) との間に、両河川の分水界をなす丘陵と高位面が分布している (図4)。東南側に位置する丘陵の頂は、100~120mの定高性を示すが、丘陵頂部には礫層などの堆積物は認められない。ここでは、慶尚累層群 (河陽層群の大邱層) よりなる基盤岩が西方へ20~30°で傾斜している。東北東方向へ緩く傾く高位面は、酌川川の形成した扇状地性の段丘面であり、その標高は115mから90mである。

高速国道西方の図4の Loc. 1 および Loc. 2 では、厚さ6~7mの段丘礫層と、これを覆う厚さ2m程度の赤色土壌層 (5YR, 4/8) が観察された。礫の最大粒径は40cm 程度である。亜角礫を主とし、完全なクサリ礫となっている。礫層を覆う赤色土壌層の下半分は、虎斑模様発達した

図 4 蔚山郡上南面水面里～三南面校洞里付近の地形分類図
等高線の間隔は 5 m. 川面は黒で塗色. 1. 高位面, 2. 中位面, 3. 低位面, 4. 最低位面, 5. 活断層 (ケバ側低下), 6. 地形・地質断面 (図 7) の位置, 7. 貯水池

Fig. 4 Geomorphological map around Sunam-Ri and Gyodong-Ri, Ulsan County

The contour interval is 5 m and river surface is colored in black. 1. higher terrace surface, 2. middle terrace surface, 3. lower terrace surface, 4. lowest terrace surface, 5. active fault, 6. location of topographical and geological profiles shown in Fig. 7, 7. reservoir

フラッドローム (Flood loam) 状の組織をもち、それは均質で締まっている。上半部は比較部ルーズかつ低密度であり、風成起源である可能性もある。高速国道の東側においても、散見するいくつかの露頭から、全く同様の段丘礫層および赤色土壌層がみられることを確認した (図 7, A-A')。

三南面早日里 (Joil-Ri) の西側の高速国道沿いには、標高 155～160m の高度に、平坦面の保存の悪い段丘面が分布する (図 5 中央南部)。風化した礫層から構成され、地表付近に赤色風化殻が認められる。後述の中位面より高い位置に分布することから、高位面に対比される。

三南面下芳里 (Habang-Ri) から月坪 (Weolpyong) 付近には、標高 155m から 140m へと東方へ緩く傾き下がる段丘面が分布する (図 6 中央)。この段丘面も西側山地から流下する河川が形成した扇状地性の地形面である。この段丘礫層は非常に風化しており、礫は完全なクサリ礫となっている。また、マトリックスも粘土化しているため、礫層は、鎌で容易に切断することができる。段丘礫層は、1～2m の厚い赤色土壌層に覆われている。

2) 中位面

中位面はやや開析は進んでいるものの、その平坦面はよく保存されている。段丘礫層の風化程度

も高位面より少なく、クサリ礫とともに、硬い礫も多数残されている。赤色土壌は認められることもあるが、赤黄色化の程度は低く、その厚さは数十cm 程度以下と薄い。

三南面象川里 (Sangcheon-Ri) の三星電管 (株) (Samseong F.) 付近では、中位面は東ないし東南方向へ緩傾斜する。これはかつての象川川が形成した扇状地面に立地している (図5中央西部)。この段丘面は、開析の程度が比較的小さく、平坦度が高い。象川川南側の最低位面の段丘崖に沿って、厚さ2m程度の段丘礫層や深層風化した基盤岩が観察できる。ただし、ここでは、地表付近の露出が悪く、表層部の詳細は不明であった。図5の Loc. 4 (図5北部) の土取り場での観察によれば、中位面の段丘礫層の厚さは2.5m以上であり、礫の配列には西から東への瓦状構造が認められる。礫の最大径は25cm 程度であり、亜角礫を主とするが、径5~6cm の礫が卓越する。クサリ礫は7割程度を占め、硬い礫も残されている。表層部の厚さ約50cm の部分が赤色土壌層である。

早日牧場 (図6の Loc. 5) には、人工的に掘られた凹地 (深さ約2.5m) が調査時にあり、その周囲の壁面で段丘構成層の層相や風化状態がよく観察された。ここでは、個々の礫は比較的硬く、全体として礫層はあまり風化を受けておらず、比較的新鮮な層相を呈する。厚さ20cm 程度以下の土壌層は一般に黄色 (2.5Y, 5/6) を示すが、顕著な赤色土壌層は認められなかった。

3) 低位面・最低位面

低位面・最低位面は、ほとんど開析を受けておらず、新鮮な礫層からなり、段丘礫層のマトリックスもほとんど風化していない。両段丘面の区別は、それらの分布高度や現河床からの比高によって行なった。

酌川川 (図4) や象川川 (図5) などの、諸河川に沿って発達している。これらのうち、象川川右岸や三星電管 (株) 東方の象川貯水池の北側 (図5北部) に発達する低位面は、厚さ2m程度の薄い段丘礫層からなる。礫はほとんど風化していない。また、マトリックスの砂質層は明黄褐色

(10YR, 6/6) を呈し、この部分も新鮮である。なお、下芳里周辺 (図5) にも、低位面・最低位面に対比可能な河成段丘面が分布する。

IV. 断層変位地形と地質構造

調査地域においては、ほぼ北北東-南南西方向に延びる数条の低崖が、段丘面上を横切っており、いずれも西側が低くなっている (図4~6)。段丘面構成層 (図7の A-A' など) は、これらの低崖を隔てて同様の層相・層序を示し、対比可能である。これらの低崖を河食崖とするならば、崖下側の段丘面は崖の走向方向に傾斜してはいくつではない。しかしながら、現実にはいずれの地域においても、低崖の両側の段丘面ともに、低崖と直角ないしは高角で交わる方向 (東北東~東南東方向) へ傾いている。また、低崖の西側に沿って、旧流路を示すような地形もみられない。したがって、複数の段丘面を横切る低崖は河食崖では説明できない。さらに、低崖はほぼ直線状に配列し、後述するようにその比高は低位面で小さく、高位面で大きい (図4~6)。すなわち、上下変位の累積性が認められるのである。

これらの事実は、これら低崖が低断層崖であることを意味する。梁山断層系は河成段丘面を切断し、累積的な変位を行なっていることは確実である。以下に、各地域毎に、活構造に関連する地質構造と、梁山断層系による各段丘面の変位地形と上下変位量などについて述べる。

1) 三南面水南里~三南面校洞里付近 (図4)

この地域の段丘面には、ほぼ北北東-南南西方向に延びる3条の低断層崖が認められる。これらの低断層崖付近では露出状態が悪く、断層露頭そのものを認めることはできなかった。しかし、もっとも東側の低断層崖の南方、酌川川の谷壁斜面 (図4の Loc. 3) の観察によれば、東方では走向がほぼ南北で、西に緩く傾斜 (25~30°W) している慶尙累層群 (大邱層の泥岩優勢の砂岩・泥岩互層) が、低断層崖に近づくと徐々に急傾斜するようになり、断層 (線) の推定位置付近では、層理はほぼ直立する (図7, A-A')。また、その層理面は剪断されており、これに沿ってほぼ水平

図 5 蔚山郡三南面象川里～三洞面早日里付近の地形分類図
図の説明と凡例は図4に同じ。

Fig. 5 Geomorphological map around Sangcheon-Ri and Joil-Ri, Ulsan County
Explanation and legend are same in Fig. 4.

の条線が観察される。この露頭から10mほど西方には、仏国寺統に相当する花崗岩類が分布するので、その間に断層が推定される。この位置は前述した低断層崖の南側直下に相当する。したがって、慶尚累層群の直立部付近を断層が通過していることは確実である。

5万分の1地質図 (Lee, Y. J. and Lee, I. K., 1972) でも、この付近に推定断層線を引いている。Hoshino *et al.* (1984) や星野 (1985b) の地質図では、上記の3条の低断層崖に沿って断層線を記入しており (図3参照)、人工衛星画像の解析や現地調査からも、それらの位置が断層と認定している。

低断層崖の長さは西側のもので約0.4kmであ

るが、中央と東側のものでは約0.6kmである。ただし、これらの長さは高位面がみられる部分にだけ認められるに過ぎず、断層はさらに南北両側へ延びていると考えられる。高位面に認められる低断層崖の比高は5～12mであり、西側で小さい (図7の A-A')。なお、もっとも西側の低断層崖の比高 (約5m) は北方でやや増しているが、その部分では河食の影響を受けている可能性がある。

2) 蔚山郡三南面象川里～三洞面早日里付近 (図5)

この地域でも、活断層が通過すると予想される付近では露頭条件が悪く、直接的な断層露頭はみられなかった。しかし、象川川南に分布する最低

位面に沿った段丘崖では、断層線の推定位置付近で基盤岩石中に多数の小断層が発達している。これは、この付近を断層が通過する可能性が高いことを示すものであろう。

本地域の地形断面を、図7の B-B'~F-F' に示す。地表面は主に水田として耕作されているので、地形断面は階段状となっている部分もあるが、断層線を境に西側が相対的に低下していることは容易に読み取れる。中位面に認められる低断層崖の比高は約4mである (B-B', F-F')。D-D' においては、ほとんど上下変位は認められないが、地形的に不連続があるのは確実である。ここでは、人工改変によって変位地形が不明瞭になっている可能性がある。E-E' では、崖の比高は10m以上に達するが、これは高位面と中位面との間の比高を計測しているためである。

象川貯水池北側の低位面上 (図5中央北部) には、崖状の地形は認められない。しかし、断層線が通ると推定した位置付近では、低位面の傾斜はほぼ水平であり、東西両側で地形面が東方に傾斜するのとは比べて明らかに異常である (図7, C-C')。この付近は水田として利用されているので、人工的な地形改変によって、比高数m以下の低断層崖がならされて消失した可能性が高い。ここを東西に通る断面測量によって、約2mの上下変位 (西側低下) が推定される。

3) 蔚山郡三南面下芳里付近 (図6)

早里付近の低断層崖の南方への延長部 (図6中央北部) では、低位面に相当する段丘面が分布し、その上に比高数m以下の低断層崖状地形 (西側低下) がみられる。

そのさらに南への延長部である月坪 (Weolpyong) 集落周辺にも、北北東-南南西方向へ走る凹地と低崖がみられる (図6中央部)。ここでは、高位面に比高約12mの低断層崖が形成されている (図7の G-G')。この場所では断層 (線) が通過すると予想される位置で、下記のようなトレンチ調査を実施し、活断層の存在を確認することができた。

図6 蔚山郡三南面早里~梁山郡下北面薄池里付近の地形分類図
図の説明と凡例は図4に同じ。

Fig. 6 Geomorphological map around Joil-Ri and Habang-Ri, Ulsan County
Explanation and legend are same in Fig. 4.

V. トレンチ調査

1) 調査の経緯と結果

梁山郡下北面薄池里月坪では、1992年11月26日に現地調査を行なった時に、活断層が通過すると推定した場所で新道が建設されていた。その一隅に現われていた掘削断面には、高位段丘を構成する礫層と基盤岩石とが断層関係で接しているようであった。そこで、その関係をさらに詳しく観察するために、付近で作業をしていたバックホーを

図 7 梁山断層系を横切る地形断面図
各断面の位置は図 4 から 6 の中に記入。
Fig. 7 Topographical profiles across the Yangsan fault system
Each location is indicated on the Fig. 4 to 6.

使って、断層線を東西方向に横切る小規模なトレンチを掘削した（図 6 の Trench site）。トレンチの大きさは深さ 1 m、幅 1.5 m、長さ 10 m 程度に過ぎなかったが、段丘礫層と基盤岩石との接触関係や両側の地質を詳しく観察することができた。

両側の地質は地表付近に位置しており、どちらも深部風化を受けていた。バックホーで荒削りした掘削断面は人力で容易に整形され、一平面に削ることができた。こうして、岩石薄片で観察するのと同じように、断層接触部付近の水平・垂直方向の断面構造を読み取ることが可能となった。

このようにして得られた、梁山主断層の断層（破碎帯）とその周辺の地質を詳しく観察して図化したのが、図 8・9 である。なお、地表面は道

路の建設のために、すでに 2 m 程度削られ平坦化されていたので、土壤層や自然の地形面との関係は判らなかった。このようにして判明した、断層付近の地質、礫の変形、付随する断層（面）、破碎帯の様子などについて次に述べる。

2) 高位段丘礫層

断層の西側に沿って高位段丘礫層が分布する。この堆積物はほとんどすべて礫のみからなり、その礫は亜円～亜角の大礫を主体とする。全体として著しく風化・粘土化し、クサリ礫となっている。風化を免れた硬質な礫はきわめて稀である。礫の充填物（マトリックス）は黄褐色の砂質粘土からなるが、礫と同様に強い風化作用を被って粘土化しているので、初生的な粒度組成はより粗粒であ

図 8 梁山断層のトレンチのスケッチ

梁山郡下北面薄池里（位置は図 6 に記入）で行なわれたトレンチの南北壁面。

Fig. 8 Sketches of the exploratory trench across the Yangsan main fault at Weolpyong, Ulsan County. South and north side walls are shown on this figure.

ったものと推定される。礫の粒度・層相や礫種などからみて、この礫層は西側山地に由来する扇状地礫層の一部であると考えられる。これは東へ傾斜する高位面の段丘礫層であるとみなされる。

礫層中の偏平礫は、断層粘土帯から 1 m ほど離れた位置ではその長軸がほぼ水平であるが、断層に近づくにつれて高角となり、その近傍ではほぼ垂直となる（図 8，9）。

3) 断層粘土帯

基盤岩と高位段丘礫層との間には、幅約 30 cm、走向 N25° E でほぼ垂直方向に延びる断層粘土帯が形成されている。全体として暗灰色を呈するが、その中に珪長質火成岩に由来した、白色～淡灰色の破碎物質をレンズ状ないし縞状に含んでいる

（図 8，9）。トレンチ底では平面的な断層（破碎帯）の断面が観察され、この粘土化した白色破碎物の組織には明瞭なミ型の雁行配列の構造が認められる（図 9）。断層粘土帯内部では延性的な変形が卓越したとすれば、右横ずれであることを示している。そして、断層条線が剪断帯の中に稀に保存されており、そのレイクは 10° 以下であると測定された。

トレンチの南壁では、主断層から派生した断層が地表付近で急激に低角度化しており、そこで断層粘土帯を変位させているのが観察される（図 8 下）。この他に、ほぼ水平に延びる小規模な断層が断層粘土を変位させ、さらにその延長部で段丘礫層の中に白色のすじとして追跡された。

図 9 梁山断層のトレンチ底面のスケッチ
a : 暗灰色帯, b : 灰色帯, c : 褐色帯,
d : 優白色帯

Fig. 9 Sketch of the exploratory trench bottom across the Yangsan fault

a : dark gray colored zone, b : gray colored zone, c : brown colored zone, d : white colored zone.

4) 盤基岩

珧長質の火成岩と塩基性～中性の火山岩からなる。両者ともに強風化を被り、全体に粘土化している。また、珧長質火成岩と塩基性～中性火山岩との境界は角礫化しており、断層粘土を挟むので、両者は断層関係で接触している。5 万分の 1 地質図 (Lee, Y. J. and Lee, I. K., 1972) によれば、珧長質火成岩は仏国寺統に、また中性火山岩は主山 (Chusan) 安山岩に相当すると判断される。

VI. 考 察

1) 変位の累積性と平均上下変位速度

梁山断層系は、高位面・中位面・低位面を変位させている。その上下変位量は、それぞれ、約 12 m・4 m・2 m である。ただし、三南面水南里～

三南面校洞里付近 (図 3, 4) においては、高位面に 3 条の低断層崖が認められるので、それぞれの変位量を加えたものが、総変位量であると考えべきかもしれない (表 1)。いずれにしても、上下変位量には明らかな累積性が認められ、少なくとも高位面形成以後、梁山断層は複数回の活動を行ってきたことがわかる。高位面は中位面の 3 倍以上の、中位面は低位面の 2 倍程度の Event を経験していることになる。

ところで、日本においては最終間氷期最盛期に赤褐色～褐色の風化帯が、広範囲にわたって形成されたことが指摘されている (松井・加藤, 1962; 町田ほか, 1987)。また、顕著な赤色土壌層は、約 50 万年前以降の温暖期の繰り返しのによって形成されたと考えられている (Sakaguchi and Okumura, 1986)。このような地形の年代観が韓国の地形にも適用できるとすれば、高位面の年代は約 50 (～25) 万年前、中位面は十数万年前であると推定できる。また、低位面は前述の地形面の状況や堆積物の層相から最終氷期中 (数万年前) に形成されたと推定される。

このような手法を適用することは、あまりに安易である。しかし、調査地域に分布する河成段丘面の形成年代を決定できる資料は、今のところ他に何もない。また、この推定年代と実際の年代が桁違いに異なる可能性は小さいと考えられる。そこで、梁山断層系の上下平均変位速度を試算するために、このように仮定する。

各段丘面の上下変位量を、それぞれの推定年代値で割ると、約 0.02～0.03 mm/y となる。したがって上下平均変位速度からみると、梁山断層系は C 級の活断層である可能性が高い。

2) トレンチ調査と断層破砕帯

断層粘土帯を隔てた両側の地形・地質は、東側上がりを示す。段丘礫層中の偏平礫のみかけ上の長軸は断層に向かって東側に傾斜している。この現象は、上下方向の動きが卓越した場合に生じる礫の回転とは逆になっている。したがって、断層の横ずれ運動に伴う「凹型の花弁構造」(Negative flower structure) の一部と考えるのがもっとも妥当であろう。断層条線も横ずれが卓越した

表 1 段丘面の推定形成年代と変位量・平均変位速度との関係
Table 1 Relationship with estimated age of terrace, amount of vertical displacement and average rate of vertical displacement

Terrace surface 段 丘 面	Estimated age 推定年代 ka	Vertical displacement 上下変位量 m	Average rate of vertical disp. 平均上下変位速度 ka
Higher terrace 高 位 段 丘	250~500 ka	12m	0.024~0.048m/ka
Middle terrace 中 位 段 丘	100ka+	4~7m	0.04~0.07m/ka-
Lower terrace 低 位 段 丘	30~60ka	2~3m	0.03~0.1m/ka

運動であることを示している。

南側壁面の断層破砕帯上部を横切る断層（図8上中央）も横ずれ運動を示しており、この断層を隔てて断層粘土帯の厚さが大きく変化している。これらの低角の断層は段丘礫層中にも白いすじとして認められる。段丘礫層中の充填物は、初生的な堆積環境を残さないほどに粘土化していることを考慮すると、これらの低角の断層は段丘礫層の充填物が粘土化した後に形成されたものと解される。

以上のような結果から、右横ずれ成分の卓越した断層運動が推定される。また、少なくとも高位段丘礫層の充填物が風化作用によって粘土化した後にも、この断層破砕帯は断層変位を被っている。この高位面は断層近傍で12m程度の上下変位を受け、横ずれ成分が卓越する断層運動がトレンチ調査結果から推定されることから、実移動は少なくとも数十mを超えるものと予想される。したがって梁山断層系の実移動速度は、前述した平均上下変位速度より、少なくとも数倍程度は大きくなる可能性が高い。

3) ネオテクトニクスの中での位置づけ

韓半島の浅発地震からは、P軸はENE-WSWであり、圧縮性の応力場にあることが明らかにされている（尾池，1984；Xu *et al.*，1989；Jun，1991）。このP軸方位は梁山断層系の右横ずれ運動を許容するものである。この応力場は現在ほぼ東西の圧縮応力場に置かれている西南日本と調和的

である。西南日本にみられる東西圧縮は、0.5Ma以降顕在化したもので（藤田・太田，1977），それ以前の水平主圧縮応力軸はほぼ南北であった（山元，1991）。したがって、西南日本の日本海側における応力場が韓半島南東部と類似したものであれば、梁山断層系の右横ずれ運動を許容する応力場は最新地質時代ではほぼ第四紀に限られる。梁山断層系の平均変位速度が求められた上下変位量より一桁大きい。0.3m/千年程度と見積っても、この断層系に沿った水平変位量は百万年で300mほどである。推定されている25~30kmの総変位量と比較すればきわめて少ない。したがって、梁山断層系は従来から指摘されているように第三紀の前半に主として活動し、本研究で明らかになった第四紀後期の活動は、既存の断層系が再活動したものと判断される。

VII. 結 論

梁山断層系の中央部で行なった空中写真判読と現地での地形・地質調査から、次のような事柄が判明した。

1. 梁山断層系は第四紀（後期）にも活動を繰り返している活断層である。高位面・中位面・低位面の各段丘面をいずれも上下方向へ累積的に変位させている。

2. 梁山断層系の中央部では、段丘面の変位からみて、東側が相対的に隆起している。これはこの地域の中地形的な山地高度の分布とは逆である。

3. 断層線は著しく直線的に延び、断層面はほぼ垂直である。この断層系に伴われる破碎帯も幅数十m以上と広く、顕著な断層粘土帯や変形帯を伴う。

4. 偏平礫の変形によれば、横ずれの卓越した断層運動が推定される。断層粘土帯の破碎物質の観察では、右横ずれの動きが認められた。

5. これらの特徴から、梁山断層系は横(右)ずれの卓越する活断層であることがわかった。段丘面ないし堆積物の推定概算値から、梁山断層系の平均上下変位速度は0.02~0.03mm/y程度であり、右ずれ平均変位速度は少なくともC級上位(0.05~0.1mm/y)程度かこれをやや上回る程度の値をもつと推測される。

6. 低位ないし最低位の段丘面では上下変位は認められなかった。しかしながら、これらの段丘面は水田として利用され、長年にわたる人工的な改変を受けているから、1~2m程度以下の上下変位があったとしても、認定が困難である。したがって、これらの新しい段丘面での変位の有無は言及できない。

謝 辞

本研究は1993年度日本地質学会総会(東京大学教養学部)及び1993年東アジア合同地震学会(鳥取県民会館)で概要を発表した。資料及び文献では星野一男(清水建設)・宮内崇裕(千葉大学)両氏や韓国資源研究所の崔煒讓氏にお世話になった。なお、調査に要した経費の多くは文部省科学研究費(国際学術調査)「韓半島-日本列島広域地震観測」を使用した。

文 献

- Chang, K., Woo, B., Lee, J., Park, S. and Yao, K. (1990): Cretaceous and Early Cenozoic stratigraphy and history of eastern Kyongsang Basin, South Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, **26**, 471-487.
- Choi, H. I., Oh, J. H., Shin, S. C. and Yang, M. Y. (1980): Geology and geochemistry of the Gyeongsang strata in Ulsan area. *Korea Inst. Geol. Materials Bull.*, **20**, 33 p.
- 星野一男(1981): いわゆる梁山断層(Yangsan, 韓国東南部)の石油地質学的意義について(演旨). 石油技術誌, **46**, p. 271.
- 星野一男(1982): 韓国東南部梁山(Yangsan)断層. 地質ニュース, **332**, 1-4 (口絵写真).
- 星野一男(1985a): 写真で見る韓国の地層. 地質ニュース, **366**, 21-27.
- 星野一男(1985b): コリア半島の造構運動の概略. 地質ニュース, **366**, 28-42.
- 星野一男・村岡洋文(1982): LANDSAT 映像よりみた韓国の地質構造. 地質調査所月報, **33**, 420-421.
- Hoshino, K. et al. (1984): *Research on interpretation of geological structures by remote sensing technique*. ITIT (Project No. 8014), 45 p.
- 藤田和夫・太田陽子(1977): 第四紀地殻変動. 日本第四紀学会編: 日本の第四紀研究. 東京大学出版会, 127-152.
- 韓国地質鉱物研究所(Korea Institute of Geology and Minerals) (1973): 25万分の1地質図「釜山」「安東」.
- 韓国動力資源研究所(Korea Institute of Energy and Resources) (1981): 100万分の1韓国地質図.
- 韓国動力資源研究所(Korea Institute of Energy and Resources) (1985): コリア半島の地史. 地質ニュース, **366**, 7-15.
- 曹 華龍(1978): 韓国浦項周辺平野の地形発達. 東北地理, **30**, 153-160.
- Jolivet, L., Huchon, P., Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N. and Thomas, C. (1991): Arc deformation and marginal basin opening: Japan Sea as a case study. *J. G. R.*, **96**, B3, 4367-4384.
- Jun, M. S. (1991): Body-wave analysis for shallow intraplate earthquakes in the Korean Peninsula and Yellow Sea. *Tectonophysics*, **192**, 345-357.
- Kang, P. C. (1979): Geological analysis of Landsat imagery of South Korea (1). *J. Geol. Soc. Korea*, **15**, 109-126.
- Kang, P. C. (1981): Geological evolution of Korea and structural analysis of Korean transect area. *CCOP Bulletin*, **14**, 31-51.
- 桂 忠彦(1992): 対馬~五島列島周辺海域の海底地質. 水路部研究報告, **28**, 55-138.
- Kim, J. Y. and Yoon, S. (1988): The occurrence of the Yangsan fault. *J. Sci. Pusan National Univ.*, **46**, 265-274.
- Kim, Y. W. and Lee, K. H. (1987): A study on the structure of the Yangsan fault in the southern part of Kyeongju. *J. Korean Inst. Geol.*, **20**, 247-260.
- Kim, Y. W. and Lee, K. H. (1988): A geoelectric study on the structure of the Yangsan fault in the south of Kyeongju. *J. Geol. Soc. Korea*, **24**, 47-61.
- Kim, N. J., Kwon, Y. I. and Jin, M. S. (1971): *Geological map (1:50,000) of Moryang sheet and its explanatory text*. Geological Survey of Korea, 19+3 p.
- Kim, Y. W., Kim, K. H. and Chang, T. W. (1986): Seismicity of the Korean Peninsula (III): Seismicity of the northern part of the Yangsan fault. *J. Geol. Soc. Korea*, **22**, 347-365.

- Lallemond, S. and Joivet, L. (1986): Japan Sea: A pull-apart basin? *Earth Planet. Sci. Let.*, **76**, 375-389.
- 李 商万(1983): コリア半島の地質とテクトニクス. 都城秋徳編: 世界の地質 (岩波講座地球科学). 355-384.
- Lee, J. S. and Pouclet, A. (1988): Le volcanisme néogène de Pohang (SE Corée), nouvelles contraintes géochronologiques pour l'ouverture de la mer du Japon. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **307**, 1405-1411.
- Lee, K. W. and Jin, Y. G. (1991): Segmentation of the Yangsan fault system: Geophysical studies on major faults in the Kyeongsang Basin. *J. Geol. Soc. Korea*, **27**, 434-449.
- Lee, Y. J. and Lee, I. K. (1972): *Geological map (1:50,000) of Eonyang sheet and its explanatory text. Geological Survey of Korea*, 32+6 P.
- Lee, K. W., Kim, H. K. and Chag, T. W. (1986): Seismicity of Korean Peninsula (II): Seismicity of the northern part of the Yangsan Fault. *J. Geol. Soc. Korea*, **22**, 347-365.
- 町田 洋・新井房夫・李 炳高・森脇 広・江坂輝弥 (1983): 韓半島と済州島で見出された九州起源の広域テフラ. 地学雑誌, **92**, 409-415.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史(1987): 北日本を広くおおう洞爺火山灰. 第四紀研究, **26**, 129-145.
- 松井 健・加藤芳郎(1962): 日本の赤色土壌の生成時期・生成環境に関する二、三の考察. 第四紀研究, **2**, 161-179.
- 見野和夫(1989): 朝鮮半島の地震活動(1). 地震学会講演予稿集, No. 2, p. 49.
- McCabe, R., Min, K. D., Han, J., Han, H. C. and Lee, D. (1988): Blocks rotations in southeast and east Asia. Paper presented at 1988 DELP Tokyo International Symposium, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Dec. 13-16.
- 南 明(1979): 山陰・対馬沖の堆積盆地の分布と性格. 石油技術誌, **44**, 321-328.
- 村内必典・浅沼俊夫(1969): 対馬 東方 海域における Seismic profiler による堆積層の研究. 国立科学博物館博報, No. 2, 39-50.
- Nash, D. F. (1979): The geological development of the North Okinawa Trough area from Neogene times to Recent. *J. Japanese Ass. Petro. Tech.*, **44**, 341-351.
- 呉 建煥(1977): 韓半島南東部海岸の地形発達. 地理学評論, **50**, 689-699.
- 尾池和夫(1984): 東アジアの地震活動. 藤田和夫編著: アジアの変動帯——ヒマラヤと日本海溝の間——. 海文堂, 89-107.
- Otsuki, K. and Ehiro, M. (1978): Major strike-slip faults and their bearing on spreading in the Japan Sea. *J. Phys. Earth*, **26**, Suppl., 537-556.
- Sakaguchi, Y. and Okumura, K. (1986): Interglacial climates and relic red soils in northern Japan based on pollen records of Interglacial deposits in eastern Hokkaido. *Bull. Dept. Geogr., Univ. Tokyo*, **18**, 29-48.
- Shimazu, M., Yoon, S. and Tateishi, M. (1990): Tectonics and volcanism in the Sado-Pohang Belt from 20 to 14 Ma and opening of the Yamato Basin of the Japan Sea. *Tectonophysics*, **181**, 321-330.
- Sillitoe, R. (1977): Metallogeny of an Andean-type continental margin in South Korea: Implication for opening of the Japan Sea. In Talwani, M. and Pitman III, W. C. eds: *Island arcs, deep sea trenches and back arc basins*. Maurice Ewing Ser., Vol. 1. AGU, Washington, D. C., 303-310.
- 立岩 巖(1976): 朝鮮—日本列島地帯地質構造論. 東京大学出版会, 654 P.
- 津末昭生(1976): 日本及び韓半島の花崗岩類について. 日本地質学会西日本支部編: 島弧と大陸との関連から見た九州の構造発展史. 51-59.
- 禹 柄榮(1984): 梁山断層の地形学的研究. 慶北大学校碩士学位論文, 41 P.
- Um, S. H. and Chun, H. Y. (1984): *Tectonic map of Korea (1:2,000,000)*. Korea Institute of Energy and Resources.
- Um, S. H. and Reedman, A. J. (1975): *Geology of Korea*. Geological and Mineral Institute of Korea, 139 P.
- Xu, J. R., Zhao, Z. X., Oike, K. and Ishikawa, Y. (1989): Regional characteristics of shallow earthquakes in and around China. *Proc. Japan-China (Taipei) Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation Kyoto, Japan*, 41-49.
- 山元孝広(1991): 日本列島の後期新生代岩脈群と造構応力場. 地質調査所月報, **42**, 131-148.
- Yoon, S. (1992): Paleoenvironmental change of the Tertiary Yangnam and Pohang basins of the southern Korean Peninsula. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **37**, 117-124.
- Yoon, S. and Kim, J. Y. (1990): Tectonic history of the Yangsan Fault, southwestern part of the Korean Peninsula. Tsuchi, R. ed.: *Pacific Neogene Events—Their timing, nature and interrelationship*. Univ. Tokyo Press, 151-160.

(1993年10月4日受付, 1994年1月17日受理)