

韓国南東部第三紀ポハン堆積盆に発達する 中新世トウムサン ファンデルタの堆積物と堆積様式の特徴 -日本海(東海)拡大最盛期における日本海最西端部の堆積作用-

徳橋 秀一¹⁾・ファン・イングル²⁾・ソン・ビョンクック²⁾・鈴木祐一郎¹⁾
金子 信行¹⁾・イ・ホヨン²⁾・キム・ハクジュ²⁾

1. はじめに

平成17年度に、韓国地質資源研究院 (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources: KIGAM) の石油・海底資源研究部と産総研地圏資源環境研究部門の間で、“Geologic correlation and petroleum system on the Tertiary sedimentary basins in Korea and Japan (韓国と日本の第三紀堆積盆における地質対比と石油システム)”というタイトルの共同研究プロジェクトが実施された。本研究テーマは、2001年12月に産総研地質調査総合センター(AIST/GSJ)と韓国地質資源研究院の間で締結された両者の共同研究に関するMOU (Memorandum of Understanding: 覚書)のなかの研究課題のひとつとして取り上げられている。

韓国では、近年、東海岸のポハン南東沖の大陸棚上で、韓国初の海洋油・ガス田であるトンヘー1ガス田(Donghae-1 Gas field: 東海-1ガス田)開発に着手し、2004年7月から生産が開始されるなど、新規油・ガス田の発見・開発に国を挙げて取り組んでいる。日本は明治時代以来、日本海側の第三紀堆積盆を中心に多数の油・ガス田を開発してきた実績がある上に、地下の根源岩、貯留岩と同じ地層を含む第三紀層が陸上にも広く露出している。一方、陸上で第三紀層の分布が極めて限られている韓国の石油地質屋にとっては、同じ日本海で形成されたこれらの第三紀層を直接観察し分析したい、あるいはそこで油・ガス田が形成されるにいたった石油システムを確認したいという要求が特に強い。こうしたことを背景に、韓国側の担当者であるソン・ビョンクック博士(Dr. Byeong-Kook Son)は、本研究テーマを実施するため

の予算的裏づけを得るために、韓国科学技術部(MOST)の国際共同研究支援事業研究費に毎年応募してきたが、応募3回目の昨年初頭、まさに3度目の正直で採用され、平成17年度に実施されることになった。

2. 韓国訪問

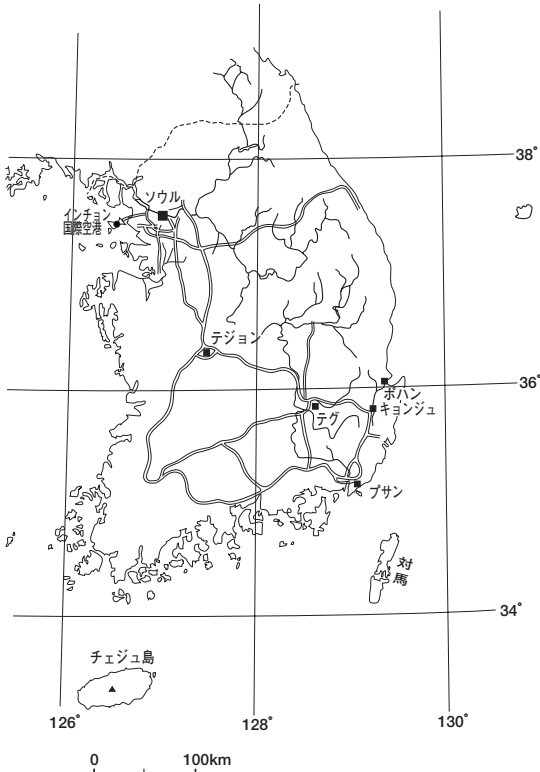
具体的な研究の手始めとして、平成17年7月4日～同7月13日に韓国側から2人の研究者(ソン・ビョンクック博士とキム・ハクジュ研究員)が日本を訪れ、日本側の徳橋・金子とともに、日本の代表的な産油・ガス堆積盆である新潟堆積盆における第三紀層を対象に調査研究を実施した。そして平成17年10月19日～同10月28日に、日本側の徳橋、鈴木、金子の3研究者が韓国に招待され、韓国での共同研究を実施した。最初、インチョン国際空港からソウルを経て、韓国中部の都市テジョンに到着した(第1図)。そしてこちらにある韓国地質資源研究院を訪れ(写真1)、韓国での地質調査へ向けた準備のかたわら、関係者と交流するとともに、実験室、地質博物館(写真2)、コアライブラリ(写真3)などの関連施設を見学した。また、招待へのお礼をかねて、日本列島とその周辺における石油・天然ガス探鉱をめぐる最近のトピックについて紹介する講演を徳橋が行った。

テジョンでの滞在後、次の宿泊先のあるキョンジュ方面に移動し、韓国東海岸沿いの第三紀堆積盆であるジャンギ堆積盆(ヤンナム堆積盆の一部)とポハン堆積盆の堆積物やポハン堆積盆西端を縁取るヤンサン断層周辺の地質調査を行った(第2図)。移動日の午後半日だけ調査したジャンギ堆積盆を案内したの

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

2) 韓国地質資源研究院石油・海底資源研究部

キーワード: ポハン堆積盆, トウムサン ファンデルタ, 韓国, 日本海, 東海, ファンデルタ



第1図 韓国における関連する都市の位置。



写真2 KIGAMの地質博物館全景。



写真3 KIGAMのコアライブラリ内部。

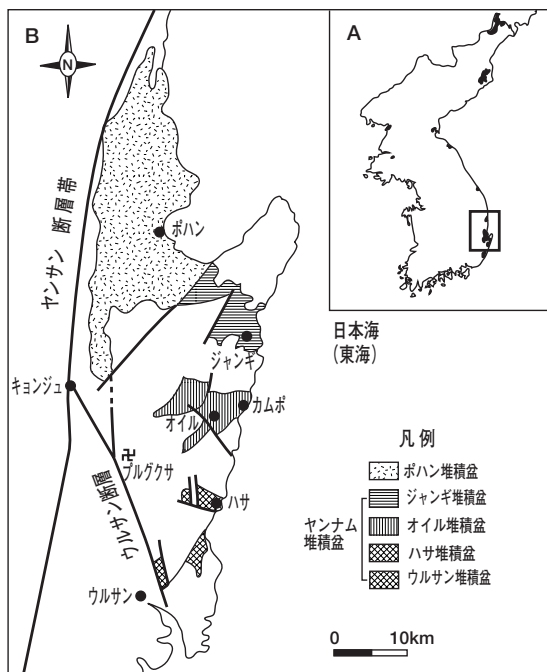


写真1 韓国地質資源研究院 (KIGAM) 前での記念撮影。
左から、共著者のファン、金子、鈴木、ソンの各氏。

は、大学院時代にこの地域を調査研究されたパーク・ヤンジュ博士 (Dr. Jang-Jun Bark) であったが、都合で翌朝現地を離れられた。調査の中心は、ポハン堆積盆の西部域に分布する中新世のファンデルタ堆積物で、調査に参加したのは、徳橋・鈴木・金子の3名と韓国KIGAMのソン・ピョンクック博士、ファン・イ

ングル博士、イ・ホヨン博士、キム・ハクジュ研究員の4名である。この他に、上記第三紀堆積盆の堆積物を対象に修士論文に取り組みたいということから、韓国南東部のテグ市にあるキョンブク大学修士1年の大学院生が勉強のために同行した。

ファンデルタ堆積物は、第三紀ポハン堆積盆の西端を縁取るヤンサン断層の東側に分布する。ヤンサン断層は、ポハン堆積盆のみならず日本海周辺に分布する第三紀堆積盆の西端を縁取る断層であることから、ポハン堆積盆のファンデルタ堆積物は、まさに日本海拡大最盛期に日本海西端の海陸境界部で形成された堆積物であるが、この堆積物の特徴、実態については、日本ではこれまでほとんど紹介されていない。そこでここでは、ポハン堆積盆の西部域に分布するファンデルタ、特にその代表的存在であるトウムサンファンデルタの堆積物と堆積様式の特徴について紹介する。ファンデルタ堆積物の調査・案内の中心とな

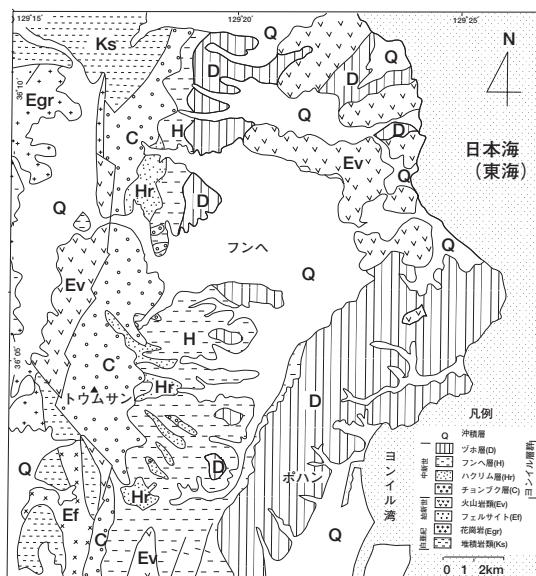


第2図 韓半島の第三紀層分布地とポハン堆積盆位置図 (徳橋, 2004)。A図の黒色部が第三紀層分布域。B図は、ポハン堆積盆とヤンナム堆積盆の分布域で、ヤンナム堆積盆はいくつかの小堆積盆から構成されている。

ったのは、この地域のファンデルタについて長年研究をしているファン・イングル博士(Dr. In-Gul Hwang)である。ここでは、ファン博士が現地での説明用に作成した巡検案内書(Hwang et al., 2002)、および関連する文献に従って紹介する。特に出典にことわりがない場合は、上記の巡検案内書に基づくものとする。

3. ポハン堆積盆の地質概要

ポハン堆積盆の地質概略図を第3図に示す。先に徳橋(2004)でも紹介しているように、韓国における第三紀堆積盆の分布は極めて限られているが、そのなかでもっとも広いのが韓国東海岸のポハン市周辺に発達するポハン堆積盆である(第2図)。ポハン堆積盆を埋積する堆積物は、ポハンが面するヨンイル湾にちなんで、一括してヨンイル層群とよばれ、中新世中期を中心に形成されたと考えられている。基盤は、白亜紀堆積岩類(キョンサン累層群)と、それを貫いたり覆ったりする白亜紀から古第三紀の花崗岩類や



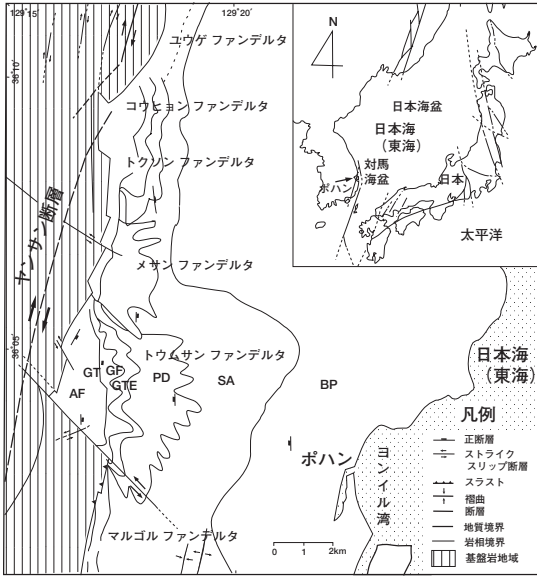
第3図 ポハン堆積盆の地質概略図。Hwang et al. (2002) を一部修正。

火山岩類である。ヨンイル層群の全体の厚さは1km以上あり、全体としては平均約5°で東に傾く。ヨンイル層群は、チョンブク層(礫岩が主体)、ハクリム層(泥岩が主体で礫岩・砂岩を挟在する)、フンヘ層(泥岩が主体で砂岩を挟在)、ヅホ層(泥岩が主体)に区分される。これらの地層は、大局的には、ヤンサン断層にほぼ並行するように南北方向に帯状に伸び、西から東へ順に若くなって分布するが、より詳しく検討すると、ファンデルタの扇頂部を中心に東側に同心円状に分布している(第3図)。

古生物学的研究によると、ヨンイル層群は温暖な気候下での暖流と寒流が混合する環境下で形成された。底生有孔虫群集によると、上記堆積物のうちハクリム層は上部～中部半深海の環境下で、フンヘ層とヅホ層は中部～下部半深海の環境下で形成された。主に西側に分布するチョンブク層は、貝化石から陸上および浅海の環境下で形成されたと考えられている。

4. ポハン堆積盆におけるファンデルタの概要

ポハン堆積盆の西端を縁取っているのは、ほぼ南北方向に走るヤンサン断層で、その成因は韓国東海岸のすぐ沖合に発達する対馬海盆の西端を縁取る対馬断層の成因と密接に関係していると考えられてい



第4図 ポハン堆積盆の構造的位置とファンデルタ群の分布。Hwang *et al.* (2002)を一部修正。AFなどの記号の意味については、第7図参照。

る(第4図)。ヤンサン断層は対馬断層と同じく右横ずれ断層として知られているが、横ずれの主たる活動時期については必ずしも考え方は一致していない。たとえば、Yoon and Chough (1995)は、広域的な海洋地質の観点から、日本海拡大の主たる時期である中新世の前期・中期を中心に考えている。一方、Hwang *et al.* (1995)は、陸上地質の立場から、ヤンサン断層の東西に分布する白亜紀キョンサン累層群や古第三紀(始新世)火山岩や花崗岩のずれの量や、その東側に発達する中新世のファンデルタの堆積物と堆積作用の研究などから、始新世以降約35kmの右横ずれを経験したが、中新世にはほぼ横ずれ運動は終了し、同断層の東側(上盤側)が沈降する正断層的な運動が主体であると考えている。ほぼ南北方向にのびるヤンサン断層に沿った地域は、平坦な細長い平野を形成しており、中新世のファンデルタ堆積物から成る東側の山地とは、地形的な好対照をなしている(写真4)。

ポハン堆積盆の西部、すなわち、ヤンサン断層の東側には、南北に連なるように大小6つのファンデルタが認められる(第4図)。すなわち、北側からユウゲファンデルタ、コウヒョンファンデルタ、トクソンファンデルタ、メサンファンデルタ、トウムサンファンデルタ、

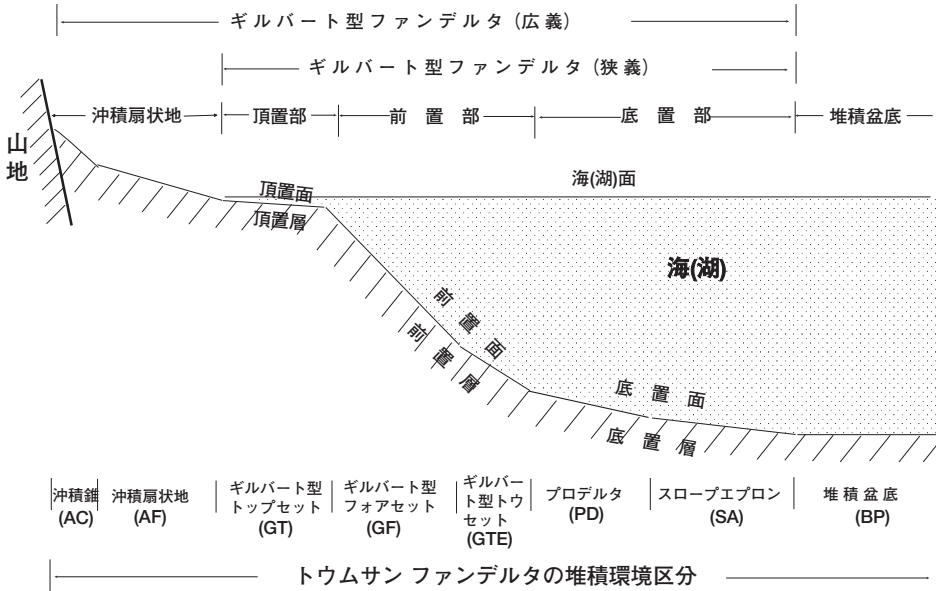


写真4 ヤンサン断層沿いの低地とファンデルタ堆積物からなる山地群。

マルゴルファンデルタである。このうち、コウヒョンファンデルタ、トクソンファンデルタ、トウムサンファンデルタは高さ100m以上のギルバート型フォアセットを有するギルバート型ファンデルタであるという。このなかでも今回見学したトウムサンファンデルタは、最も規模が大きく、最も典型的に発達したギルバート型ファンデルタである。

5. ギルバート型ファンデルタとは?

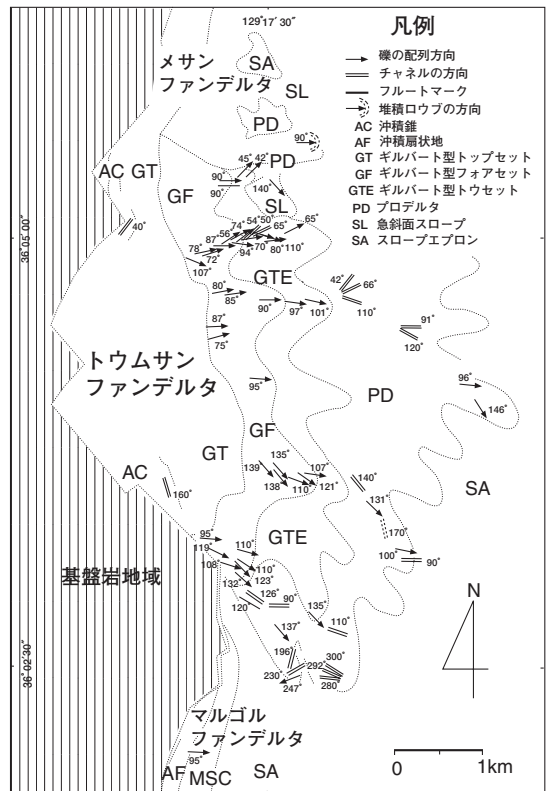
デルタとは、平野部を流れてきた河川が海岸や湖岸に達すると流速を急激に減速するために、河川が運搬してきた堆積物が河口部周辺に沈積することによって形成される堆積地形である。三角形状に出張することがあることから、三角州ともよばれる。一方ファンとは、河川が山地の谷筋から広くて勾配のゆるい平野部に流出すると、やはり流速の急激な減速によって運搬してきた堆積物とその周辺に沈積して形成される堆積地形である。その平面的な形が、谷(河川)の出口を扇頂にした扇状の形態を示すことからついた名前で、扇状地ともよばれる。どちらも流れが急速に減速することによってできる堆積地形であるが、ファンの構成物が礫などの極粗粒な堆積物が主体であるのに対して、デルタの場合は砂や泥などの比較的細粒な堆積物が主体である。通常は谷の出口と河口との間には十分な距離があり、ファンとデルタの間には、蛇行河川が発達する平野が存在する。しかし、距離が短く、山地が湖や海に迫っている場合には、ファンが直接海岸や湖岸に接してデルタに移行すること



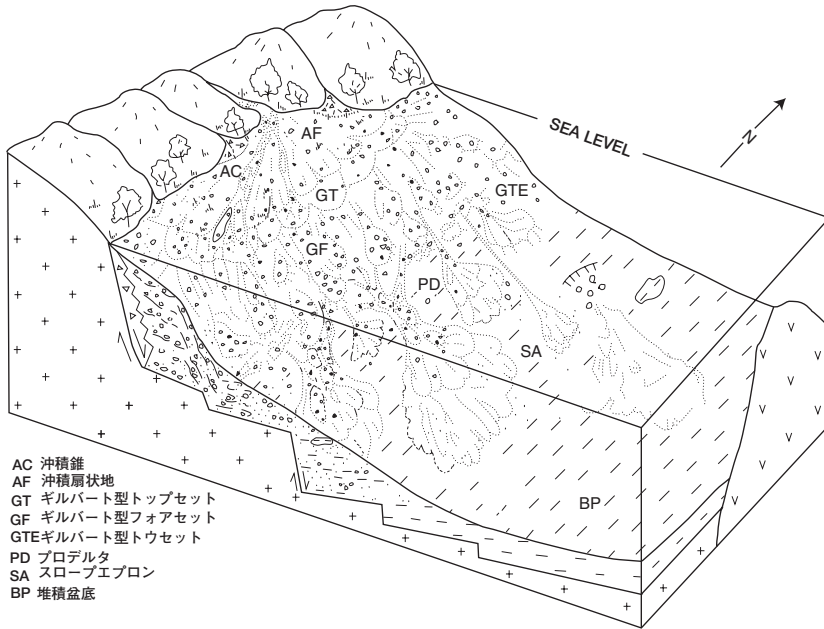
第5図
ギルバート型ファンデルタの模式断面。

になる。こうした堆積地形をファンデルタとよんでいる。扇状地デルタ、扇状地三角州、場合によっては、デルタファン、三角州扇状地とよぶこともある。

ギルバート型デルタというのは、デルタの一種であるが、河口から沖合に向かう断面形態に特徴がある。すなわち、河口付近から水平に近いほど極めてゆるく傾きながら沖合に伸びる頂置部 (topset)、その沖合にあって急勾配の斜面からなる前置部 (foreset)、さらに沖合にあって再度ゆるく沖合に傾く底置部 (bottomset) の3つの部分から構成されている。また、各部の面やその面をつくる地層 (堆積物) のことを、それぞれ、頂置面・頂置層、前置面・前置層、底置面・底置層とよんでいる (第5図)。こうした形態のデルタの存在は、アメリカ地質調査所のギルバート (G.K.Gilbert) がアメリカ合衆国ユタ州のボネビル湖周辺の更新統の地層から初めて報告した (Gilbert, 1885)。その結果、この種のデルタはギルバート型デルタ、ファンデルタの場合は、ギルバート型ファンデルタとよばれている。ギルバートが最初に記載したのはファンデルタの場合であった。一般的には、ギルバート型デルタやファンデルタは、海岸や湖岸から沖合に向かって急激に深くなるような海や湖に、河川から大量の堆積物が供給される場合に形成されると考えられている。また、広義のギルバート型ファンデルタという場合には陸上のファン (扇状地) 部分を含めるが、狭義の場合



第6図 トウムサン ファンデルタ堆積物の古流向分布図。Hwang (1993MS)を一部修正。



第7図
 トウムサン ファンデルタを構成する堆積環境復元図. Hwang et al. (1995)を一部修正.

には陸上部分は含めていないようである(第5図)。

6. トウムサン ファンデルタの堆積様式の特徴

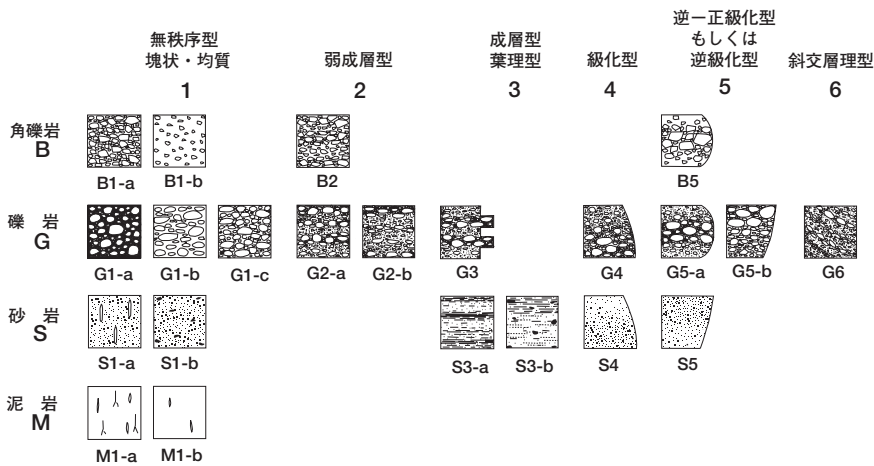
ギルバート型ファンデルタは、急勾配(15°~35°)の前置面を有することが最も大きな特徴であるが、前置面の高さ、すなわち底置部から頂置層までの比高は、通常は10mかせいぜい数10mであるといわれている。しかし、ポハン堆積盆に発達するギルバート型ファンデルタの場合には、その高さが100m以上、特にトウムサン ファンデルタの場合には、150m以上あるということで、前置面の規模が特に大きいのがひとつの大きな特徴となっている。

トウムサン ファンデルタを構成する堆積物の解析から、それぞれの地点で堆積物が運搬されてきた方向(これを古流向という)がわかる。それによると、トウムサン ファンデルタは、トウムサン山頂の西方の供給源から放射状に供給され堆積して形成されたことが明らかになっている(第6図)。また、ファンデルタ内部での堆積物の岩相とその組合せの分布、個々の岩相が形成された堆積メカニズム、堆積物中の化石・生痕跡などの詳しい解析により、ファンデルタのどのような堆積環境・堆積様式の下で形成されたかを議論することができる。それによると、トウムサン ファンデルタが形成されていた頃の堆積環境は、供給源に近

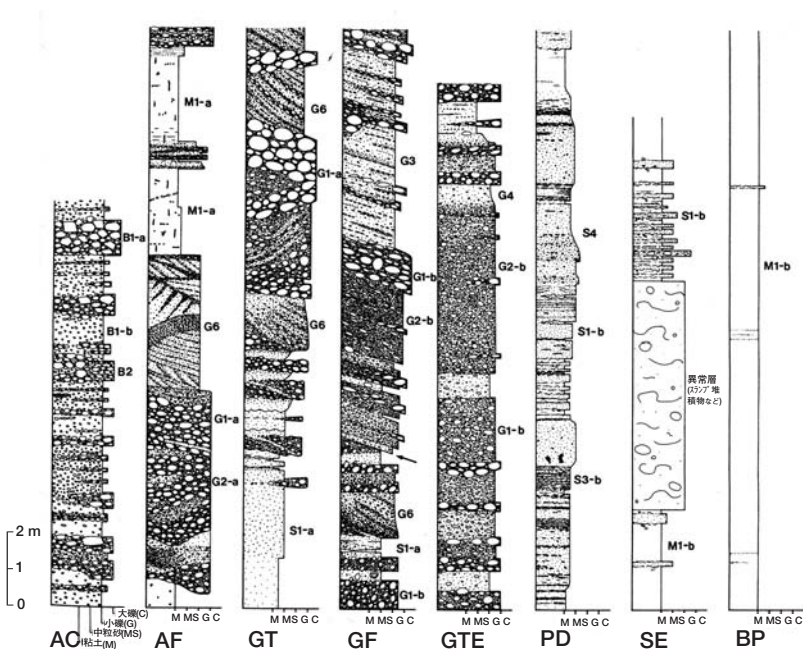
い側から沖合の堆積盆底に向かって、沖積錐(Alluvial Cone: AC)、沖積扇状地(Alluvial Fan: AF)、ギルバート型トップセット(Gilbert-type Topset: GT)、ギルバート型フォアセット(Gilbert-type Foreset: GF)、ギルバート型トウセット(Gilbert-type Toeset: GTE)、プロデルタ(Prodelta: PD)、スロープエプロン(Slope Epron: SE)、堆積盆底(Basin Plain: BP)に区分できるとい(第7図)。第5図では、一般的なギルバート型ファンデルタの区分とトウムサン ファンデルタで区分された上記の堆積環境との関係も示している。

7. トウムサン ファンデルタの堆積物の特徴

トウムサン ファンデルタを構成する堆積物の岩相は、第8図のように区分される。すなわち、まず主要な構成物質の粒度や形態から、角礫岩(B)、礫岩(G)、砂岩(S)、泥岩(M)に4分され大文字のアルファベットで表記される。次に堆積構造の特徴によって、すなわち、無秩序もしくは均質である(1)、弱成層している(2)、成層もしくは葉理が発達している(3)、正級化している(4)、逆級化して正級化もしくは逆級化している(5)、斜交層理が発達している(6)に分け、数字で表記される。個々の岩相は、この大文字のアルファベットと数字の組合せによってB2、S4などと表現されるが、さらに詳しく細分する必要がある場合、



第8図
岩相分類図. Hwang (1993MS)を一部修正.
説明は本文参照.



第9図
トウムサン ファンデルタを構成する堆積環境ごとの堆積物の模式岩相図. Chough et al. (1989)を一部修正. ACなどの記号の意味については, 第7図参照. GFについては, 矢印より上位がGFの岩相で, それより下位はGTの岩相であること, 両者が浸食面で接していることを示している.

たとえば, この記号に化石・生痕の有無など他の情報が加わる場合は, 小文字のアルファベットを加えて, M1-a, M1-bなどと表現する.

トウムサン ファンデルタに見られる堆積環境ごとの代表的な堆積物の特徴を柱状資料の形で図示し, 陸側から沖合へと順に並べたのが第9図である. 各柱状図右側に示す記号は, 第8図に示した岩相記号を示す. この図から, 各堆積環境の岩相(構成物質の粒度やその配列様式など)のおおまかな特徴, そして沖合に向かって全体として細粒化する様子が見え

るが, 以下では, 堆積環境ごとの堆積物の特徴をもう少し詳しく説明する.

沖積錐(AC)の堆積物

沖積成堆積物は, 白亜紀層などの基盤を覆う礫質堆積物から成るが, 堆積環境からは, 沖積錐と沖積扇状地に区分できる. 沖積錐は, 主に無秩序型もしくは弱成層型角礫から構成され, 円錐体の直径は200m以下である. トウムサン ファンデルタでは, ヤンサン断層と接して2ヶ所に分布する.

沖積扇状地(AF)の堆積物

沖積錐を覆いまた取り囲むように分布する沖積扇状地は、網状河川が卓越しチャンネル状の形態をした無秩序型、弱成層型および斜交層理型礫岩から構成される。通常上方細粒化傾向を示す。

ギルバート型トップセット(GT)の堆積物

ギルバート型トップセット堆積物は、無秩序型、弱成層型、斜交層理型礫岩そして塊状型、葉理型砂岩から構成されている。豊富な貝化石は汽水域から浅海の環境を示す。弱成層型および斜交層理型礫岩はおそらくチャンネルのなかの礫洲として形成されたものと思われる。シート状の形態から、幅/深さの比が相対的に高いことが推測される。ギルバート型トップセット堆積物は、網状河川が浅海域に前進しながら形成されることから、通常上方粗粒化傾向を示す。

ギルバート型フォアセット(GF)の堆積物

ギルバート型フォアセット堆積物は、約20°の急勾配で傾き、無秩序型、弱成層型、逆級化型(～正級化型)礫岩からなる地層で特徴づけられる。これらの岩相は、おそらく堆積物重力流、たとえば、重力地すべり、非粘着型土石流、濃度修正型粒子流から沈積したものであろう。トウムサン ファンデルタの場合、ギルバート型フォアセットは150m以上の高さで約1km前進したと考えられている。

ギルバート型トウセット(GTE)の堆積物

ギルバート型トウセットは、厚い均質な泥質砂岩とともに、無秩序型、弱成層型、級化型、逆-正級化型礫岩および礫質砂岩の変形層で特徴づけられる。堆積同時性の変形は、大規模な褶曲、断層、フレイム構造の存在で明らかである。また、水中地すべりによる移動・変形の過程でブロック化して形成された地すべりブロックや粘着力に富む泥質な球体がフォアセット斜面を転がり落ちる過程で斜面上の礫を次々と取り込んでできたと考えられるアーマード マッドボールといった小規模な異常層も出現する。こうした変形した粗粒堆積物の存在は、急な勾配を保ちながら堆積したフォアセット堆積物の二次的な移動(崩壊)にともなう再堆積作用に起因するものと考えられる。

プロデルタ(PD)の堆積物

トウムサン ファンデルタの場合には、堆積物重力流が卓越したプロデルタで特徴づけられる。この場合のプロデルタ堆積物は、厚い均質な泥岩とともに、塊状砂岩、葉理砂岩、級化砂岩、無秩序型砂岩、それに級化型礫岩を含んでいる。均質な泥岩は、少数の有孔虫、珪藻、珪質鞭毛藻類といった生物化石片とともに、陸源物質を含んでいる。底生有孔虫化石は、上部から中部半深海の種が出現する。

砂岩は、ほぼ間違いなく高濃度および低濃度混濁流によって堆積したと考えられるが、一方、礫岩は高濃度混濁流もしくは非粘着型土石流によって堆積したと考えられる。岩相組合せおよび地層の形態の両方から海底チャンネル、チャンネル間、ロウブ(葉状の形態をした堆積体で堆積葉状体ともいう)、ロウブ間で形成したものと考えられる。

スロープエプロン(SE)の堆積物

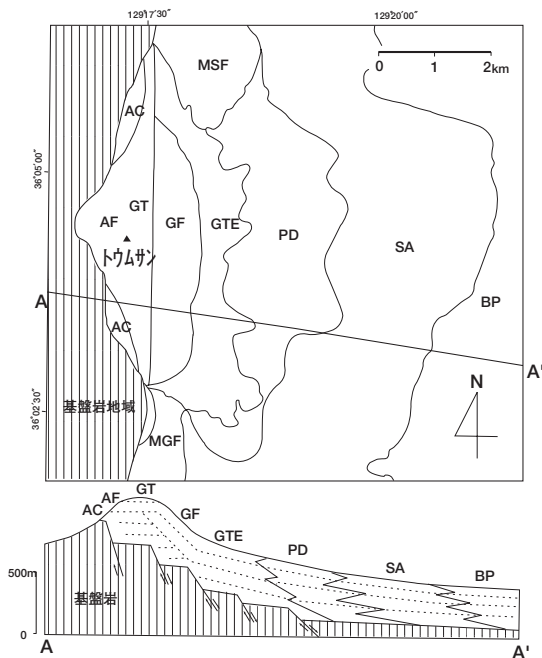
スロープエプロン堆積物は砂岩泥岩互層、くさび状礫岩、異常堆積物、それに厚い泥岩層によって特徴づけられる。厚い均質な泥岩は、多分、細粒粒子の粒子単位の沈降によって堆積したと考えられる。一方、砂岩泥岩互層は低密度混濁流によって形成された。これらの流れは、たぶん急勾配のフォアセットで発生し、海底チャンネルおよびプロデルタのロウブを通して粗粒な堆積物を運搬した。流れはさらに拡がり、ロウブの末端部では、薄いシート状の砂岩体が堆積した。いくつかの異常層の存在は、地すべりやスランプを生じさせるだけの急な勾配があったことを示している。

堆積盆底(BP)の堆積物

堆積盆底の堆積物は泥岩で特徴づけられることから、堆積環境は泥質物質の粒子ごとの沈降で特徴づけられ、豊富な化石(有孔虫、珪藻、珪質鞭毛藻類、パリノモルフ、腹足類、貝化石、植物片)をともっている。泥岩は大部分均質で、生物擾乱は稀である。

8. トウムサン ファンデルタの構造とヨンイル層群の層序との関係

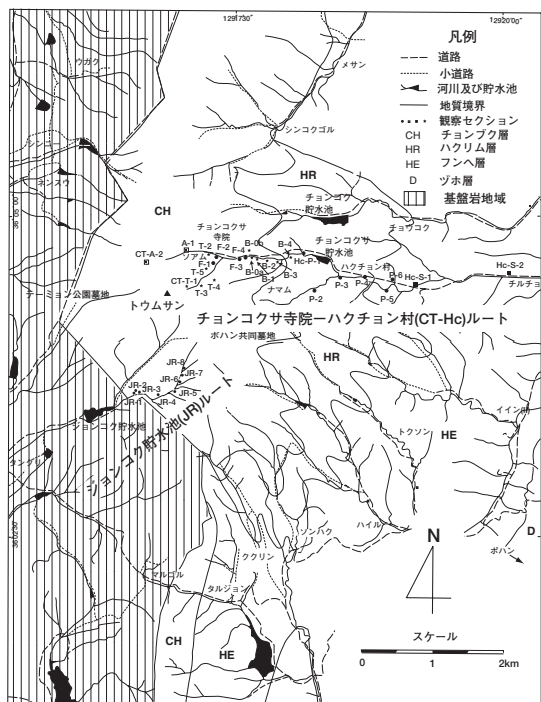
このようなトウムサン ファンデルタを構成する堆積物の研究から、ポハン堆積盆に発達するヨンイル層群は、全体としてファンデルタを構成する各堆積環境の



第10図 トウムサン ファンデルタにおける各堆積環境の平面位置図(上)および各堆積環境堆積物の断面位置図(下)。Chough *et al.* (1989)を一部修正。ACなどの記号の意味については、第7図参照。断面図内の破線は、地層の傾きを概念的に表現している。

堆積物とその沖合の堆積盆底の堆積物から構成されているという。こういった考えをトウムサン ファンデルタを例に平面図と断面図で示したのが第10図である。また、断面図に描かれているように、基盤に発達した南北方向の正断層の運動が、後背地の供給量やファンデルタのフォアセットの水準的位置や高さに大きな影響を与えたと考えている。すなわち、ファンデルタの発達時には、横ずれ運動よりも展張応力下での東下がり大きな正断層が発達し、その時期がほぼ中期中新世であることから、ヤンサン断層の東側に南北に連なるボハン堆積盆のファンデルタ群は、日本海の拡大・形成運動と密接に関連して形成されたとするのが、案内者のファン博士やその研究グループの考え方である(Choe and Chough, 1988; Chough *et al.*, 1989; Hwang *et al.*, 1995; Hwang and Chough, 1990; Chough and Hwang, 1997; Hwang and Chough, 2000; Kim and Chough, 2000)。

この考え方によると、ヨンイル層群を構成する4つの累層は、西側に分布する地層ほど古い傾向を

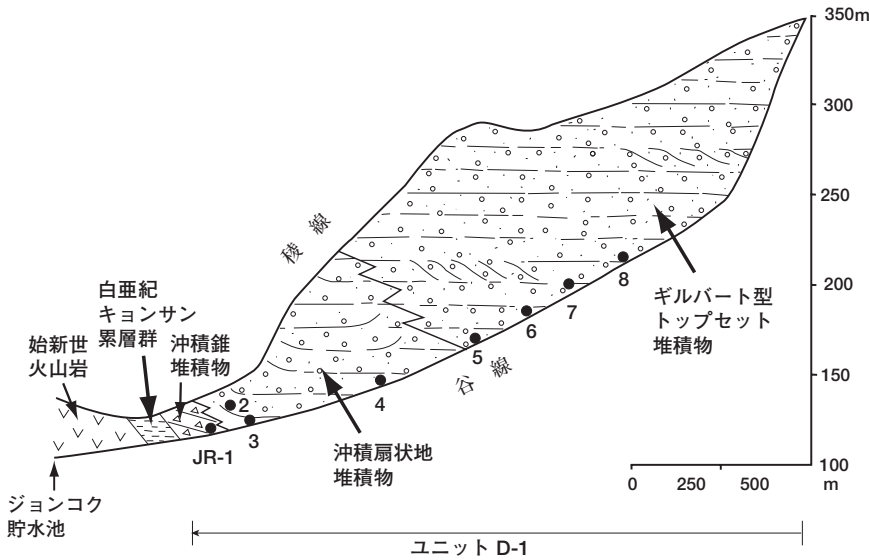


第11図 露頭位置図。Hwang *et al.* (2002)を一部修正。

有するとはいえ、基本的には横方向の関係、すなわち同時異相の関係にあることになる。つまり、ほぼ南北方向に帯状に分布する4つの累層(西側からチョンブク層、ハクリム層、フンへ層、ヅホ層)は、南北にのびるヤンサン断層の東側に連なるように発達した複数のファンデルタの堆積環境が、供給源近くから東方の沖合に向かって変化するファンデルタの堆積環境の違いを反映していることになる。トウムサン ファンデルタの堆積環境で説明すると、おおまかにいって、主に礫岩を主体とするチョンブク層は沖積錐・沖積扇状地・ギルバート型トップセット・フォアセット・トウセットの堆積環境下で、塊状泥岩を主体とし、礫岩・砂岩を挟在するハクリム層は堆積物重力流が卓越するプロデルタ堆積環境下で、泥岩を主体とし砂岩を挟在するフンへ層はスロープエプロンの堆積環境下で、泥岩～半遠洋性泥岩を主体とするヅホ層は堆積盆底の堆積環境下で形成された堆積物であるということになる。

9. 巡検コースと露頭

トウムサン ファンデルタの巡検は、トウムサン山頂の



第12図
 ジョンコク貯水池ルート
 の模式断面と露頭(黒丸)
 位置図. Hwang et al.
 (2002)を一部修正.

南西麓に位置するジョンコク貯水池から北東方向に伸びる沢沿いのルート(ジョンコク貯水池ルート: JRルート)とトウムサン山頂の北麓から東西方向にのびる道路沿いおよびそれに沿って東に流れる河川の主流や支沢沿いで行われた(ジョンコクサ寺院-ハクチョン村ルート: CT-Hcルート, 第11図).

9.1 ジョンコク貯水池ルート(JRルート)

本ルートでは、基盤岩から断層を経て、トウムサンファンデルタ構成物のうち、供給源にもっとも近い陸成堆積物から海陸漸移帯の堆積物を見学することができる。ジョンコク貯水池のところから車をおいて、そこから沢沿いを上流の北東方向に歩くことになる。本沢

筋に沿った堆積物と露頭地点を示した模式断面を第12図に示す。

基盤岩の白亜系キョンサン累層群堆積物

貯水池の周辺はヤンサン断層の周辺に広く分布する始新世の火山岩であるが、途中断層を経て、白亜系のキョンサン累層群を河床で観察することができた。基本的に砂岩と泥岩の互層であるが、砂岩には各種の葉理構造がみられるとともに、泥岩は陸成層らしく赤色～赤紫など赤みがあったものが多い(写真5)。また途中チャート礫を多数含むギョンサン累層群の礫岩の転石を観察することができた。徳橋(2004)



写真5 基盤の白亜紀キョンサン累層群.



写真6 チャート礫を含むキョンサン累層群の礫岩転石.



写真7 沖積錐堆積物(露頭JR-1). 角礫の多い層とそうでない層が互層している.

でも指摘しているように、韓国(韓半島)では、日本における付加体の代表的な岩石であるチャートそのものの露頭や存在は確認されておらず、礫のみがキョンサン累層群の礫岩中に知られている。そして、チャート礫中の放散虫化石の研究から、アジア大陸の東縁部に位置していた当時の日本列島の付加体のチャートから供給された可能性が高いという日本とは因縁の深い礫岩であることから、転石ではあるが早速写真に収めた(写真6)。

沖積錐堆積物(露頭JR-1)

白亜系の基盤岩分布域をさらに北東方向に歩くと傾斜がよりゆるやかであり固結していない礫岩の卓越した崖が現れる。これが新第三系トウムサン ファンデルタ堆積物を最初に観察する露頭JR-1である(写真7)。トウムサン ファンデルタ堆積物と白亜系基盤との間の境界は、ヤンサン断層と同時期に活動した北西-南東方向の断層であるということであるが、露頭の関係でここでは観察しなかった。JR-1の露頭で観察される地層は、供給源に最も近いところで形成された沖積錐の堆積物であるという。角礫の豊富な層とそうでない層が明瞭な境界で互層するのが観察される。ある場合には、2つの層が逆-正級化型層を構



写真8 チャネル堆積物(斜交層理型礫岩)から始まる上方細粒化サイクルを示す沖積扇状地堆積物(露頭JR-2).



写真9 沖積扇状地堆積物の上方細粒化サイクル上部の泥質砂岩中にみられる生痕化石(露頭JR-2).

成しているように思われる。ある礫は、層理面に平行しているように配列し、礫の間を砂などの細粒物が充填していない透かし礫構造を示す。これらの堆積物は、上方細粒化傾向を示す。礫は、大方(75%以上)が白亜紀の堆積岩の角礫で一部が始新世の火山岩であるという。これらの岩石は、ヤンサン断層西側の供給源に分布している。これらの岩相は、大雨などの折に起きた土石流や鉄砲水などによって運搬・堆積したものであり、透かし礫構造は、多分それに引き続くリワークによって形成されたものであろうという。



写真10 下部から上部へ、砂岩、礫質砂岩、礫岩へと上方粗粒化サイクルを示す漸移帯(ギルバート型トップセット)の堆積物(露頭JR-5)。



写真11 上方粗粒化サイクル下部の細粒堆積物中にみられる石灰質ノジュールと石炭片。

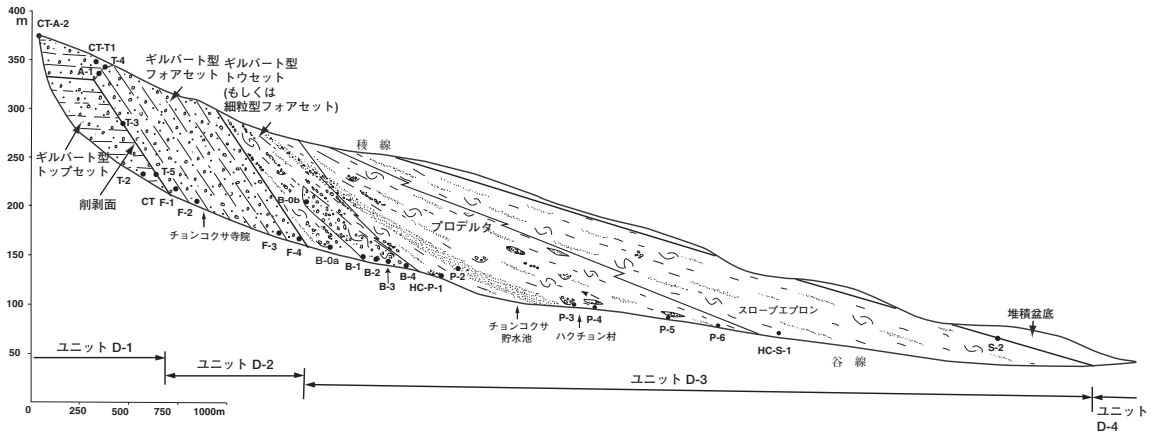
沖積扇状地堆積物(露頭JR-3, JR-2)

JR-1でみられた角礫を含む沖積錐堆積物は、北東方向(堆積物供給の下流方向)および上方(層位的上位方向)に向かって河川卓越型の沖積扇状地堆積物に移行する。直下に横たわる沖積錐堆積物と違って、沖積扇状地堆積物の礫は垂角礫から円摩された礫が主体となり、堆積物は上方細粒化傾向を示すという。実際、北東方向に沢沿いに数百m移動したところにある露頭JR-3では、斜交層理の発達した砂岩が上方に細粒化する堆積物が観察され、河川堆積物と考えられる。また、JR-1とJR-3の中間にあって、河床より20m以上高いところの山腹にある大きな崖(露頭JR-2)でも、河川堆積物の特徴を有する上方細粒化堆積サイクルが観察される(写真8)。ここでは、下部はチャンネルの形態をした斜交層理の発達した厚い礫岩で特徴づけられる。その上位を覆う厚い礫質砂岩は、直線のおよび下方に傾きがゆるくなる斜交層理のいろいろな組合せセットから構成される。さらにその上位は、褐色を帯びた黄色を呈し、豊富な植物片やリグナイトの破片を含んでいる均質な泥質砂岩によって覆われている。また、巣穴、植物根などの生痕化石が豊富である(写真9)。礫岩、礫質砂岩の岩相は、網状河川内での横に移動する礫質砂洲を表し、泥質砂岩はおそらくチャンネルやチャンネル間の非活動的な砂洲での堆積を表していると考えられるということである。

ギルバート型トップセット(漸移帯)堆積物(露頭JR-5)

JR-2やJR-3で観察した上方細粒化サイクルで特徴づけられる河川成堆積物(沖積扇状地堆積物)は、さらに北東方向に移動すると、上方粗粒化サイクルで特徴づけられる漸移帯(汽水～浅海域)の堆積物に移行するという。たとえば、露頭JR-5(写真10)で観察した上方粗粒化堆積物は、下部が垂直巣穴管(大体直径が1cmで長さ10cm)を普通を含む塊状もしくは成層型砂岩(岩相S1-aおよびS3-a)で代表される。この砂岩ユニットは、弱成層型の礫質砂岩(岩相G2-a)と塊状および葉理粗粒砂岩(岩相S1-aおよびS3-a)の互層に覆われる。本露頭の上部は、一部方解石でセメントした無秩序型と弱成層型礫岩の融合したユニットで特徴づけられる。礫岩と砂岩の上方粗粒化傾向とともに、汽水域から浅海域の貝化石および垂直巣穴の存在は、網状河川が浅海域に前進する漸移帯環境(ギルバート型トップセット)での堆積を暗示しており、マイクロデルタの前進によって形成されたと考えられる。ところで、著者の一人の鈴木主任研究員が持ち帰った本露頭の下部の砂岩中に石灰質のジュールとともに含まれていた石炭片(写真11)について、産総研地圏資源環境研究部門の小田 浩研究員が反射率を測定したところ、平均で0.32という値が得られた。石炭のランクでいうと褐炭ということである。

9.2 チョンコクサ寺院-ハクチョン村ルート(CT-Hcルート)



第13図 チョンコクサ寺院-ハクチョン村ルート模式断面および露頭(黒丸)位置図. Hwang et al. (2002)を一部修正.



写真12 ギルバート型トップセット堆積物(露頭CT-A-2). 説明は本文参照.



写真13 ギルバート型トップセット(右手の防護ネット裏側の水平に近い地層)からフォアセット(左手の防護ネット裏側の急角度で傾く地層)への移行部の堆積物(露頭CT-A-1).

本ルートは、トウムサン山頂の北側をほぼ東西に伸びるルートで、トウムサン山頂北側の新しい道路沿いの露頭から、チョンコクサ寺院(CT)を経てハクチョン村(Hc)に伸びる沢筋の露頭において、西から東へ、漸移帯環境のギルバート型トップセットの堆積環境から海底環境のギルバート型フォアセット、ギルバート型トウセット、プロデルタ(ギルバート型ボトムセット)、スロープエプロン、堆積盆底の堆積環境下で形成された堆積物を順に観察した。ほぼ東西方向の沢筋に沿った堆積物と露頭地点を示した模式断面を第13図に示す。

ギルバート型トップセット堆積物(露頭CT-A-2)

本露頭は、トウムサン山頂の北西に位置する新しい

道路沿いの崖で、ここではギルバート型トップセットの堆積物が観察できる(写真12)。本露頭では、無秩序型礫岩(岩相G1-a)、弱成層型礫岩(岩相G2-a)、斜交層理型礫岩(岩相G6)、塊状砂岩(岩相S1-a)から構成される。塊状砂岩は淘汰の悪い細粒～中粒砂から構成される。砂岩の色は、緑灰色～黄灰色であるが、一部は褐炭を伴って暗灰色である。砂岩は通常削剥されていて、無秩序型、弱成層型、斜交層理型礫岩で覆われている。無秩序型および弱成層型礫岩の形態は一般に平板型であるが、斜交層理型礫岩は下位の砂岩や礫岩をトラフ型に削り込んでいる。礫岩および砂岩は上方粗粒化か上方細粒化傾向を示す。上方細粒化傾向を示す淘汰不良、緑灰色～黄灰色砂岩は



写真14 チョンコクサ寺院.



写真15 ギルバート型トップセット堆積物(左下)とフォアセット堆積物(右上)の明瞭な浸食境界面(露頭CT-T-5). キムさんが指差しているところが境界面.

陸上の網状河川下での堆積を示すのかもしれないが、砂岩中の暗灰色褐炭片の存在や上方粗粒化傾向は、網状河川から海底環境への前進的堆積作用を示しているのかもしれないということであった。

ギルバート型トップセット～ギルバート型フォアセットへの移行部の堆積物(露頭CT-A-1)

トウムサン山頂の北北東に位置する新しい道路沿いの露頭で、ギルバート型トップセット～ギルバート型フォアセットへの漸移部とみられる地層が観察される(写真13)。本露頭の西側(写真右手の防護ネット裏側付近)は、地層の傾きが水平に近い平板型礫岩および砂岩から構成されるが、東側(写真左手の防護ネット裏側付近)に向かって急傾斜する(25°以上)礫岩および砂岩に移行する。

西側は中程度に淘汰された塊状もしくは葉理の発達した細粒～粗粒砂岩から構成される(岩相S1-aおよびS3-a)。砂岩は通常削り込まれ、無秩序型礫岩(岩相G1-a)、弱成層型礫岩(岩相G2-a)、斜交層理型礫岩(岩相G6)で覆われる。礫岩の形態は、通常平板型であるが、いくつかは小規模なトラフを埋積する。本堆積物は、ギルバート型トップセットの堆積物と考えられるが、網状河川から浅海環境への前進を示しているのかもしれないということである。

一方、東側は、急傾斜(25°以上)の礫岩および砂岩から構成される。砂岩は一般的に塊状である(岩相S1-b)。薄くて側方に不連続的な礫岩層が存在する。礫岩は無秩序型(岩相G1-b)および弱成層型(岩相G2-b)である。本堆積物は傾斜するフォアセット斜面

に堆積したものと考えられる。またトップセットとフォアセットへの前進パターンは、堆積盆の急速な沈降と堆積物の高い供給速度を暗示しているという。

ギルバート型トップセットとギルバート型フォアセット堆積物の不連続的接触(露頭CT-T-5)

次に、車で東にあるチョンコクサ寺院に向かい、ここで車を降りた。ちなみにこのチョンコクサ寺院(写真14)は、案内者のファン博士がかつてこのあたりを調査していたソウル国立大学大学院時代に寄宿させてもらっていた寺院である。僧が修行のために寝起きしていた寄宿舎の一室を借りて自炊生活をしていたということであるが、現在はその建物は無い。我々はここから沢に下りて沢沿いを歩いて次の露頭へと向かった。

目的の露頭はチョンコクサ寺院南西の支沢の中の露頭で、ギルバート型トップセット堆積物が東傾斜の直線的で明瞭な削り面を境にギルバート型フォアセットで覆われているのが観察される(写真15)。トップセット堆積物は無秩序型礫岩(岩相G1-a)、斜交層理型礫岩(岩相G6)、および塊状砂岩(岩相S1-a)で特徴づけられる。無秩序型礫岩は礫支持で部分的に透かし礫状である。大部分の礫の配列はランダムである。塊状砂岩(岩相S1-a)はリップルを伴う中程度～良程度に淘汰された細粒～粗粒な砂から構成されている。砂岩は方解石で部分的にセメントされており、軟体動物化石片を含む。一方、フォアセット堆積物



写真16 薄い礫層が重なるフォアセット堆積物(露頭CT-F-1)。

は、(弱)成層型礫岩(岩相G2-bおよびG3)から構成される。(弱)成層型礫岩は急斜面上を岩層なだれ、重力すべり、もしくは礫の落下によって運搬されたと考えられる。またある場合には、成層した層のなかで礫は逆級化を示すことから、運搬途中での礫同士の相互作用が暗示されるということである。

トップセット堆積物とフォアセット堆積物の間の明瞭な境界面は、走向方向に沿って1km以上、傾斜方向に150m以上にわたって追跡可能であるという。この大規模で明瞭な境界は、東側のブロックが相対的に下方に動いた大きな断層運動の結果起きたと考えられている。

ギルバート型フォアセット堆積物(露頭CT-F-1)

本露頭は、やはりチョンコクサ寺院南西の沢の中の露頭で、ここではギルバート型フォアセット堆積物を観察した(写真16)。本フォアセット堆積物は、(弱)成層型礫岩および礫質砂岩(岩相G2-bとG3)から構成される。成層した礫岩は比較的厚いものもあるが、一般的に薄く、礫一つか二つ分の厚さで、側方にも不連続的であるものが多い。礫はマトリックス支持か礫支持で不良～中程度の淘汰度の砂岩中に含まれる。大部分の礫は、個々の斜面に平行に配列し、あるものはインブリケートしている。砂層は稀であっても厚さ10cm以下で薄い。礫に富む層は一般的に側方に不連続的である。いくつかの礫は透かし礫状である。そ



写真17 フォアセット堆積物中の移動。地層はフォアセット面というもともと傾いた面の上で形成されたもので、後の構造的な変動によって傾いたものではない。

のほかのものは(逆)級化している。

80個の礫のインブリケーションを測定したところ、古流向は西から東であるという。薄くて側方に不連続的な(逆)級化ユニットは小規模な地すべり、礫の落下、もしくは非粘着性土石流を暗示させるということである。

露頭CT-F-1を観察後、支沢からチョンコクサ寺院南側を東西に流れる本流にもどり、東側の下流方向にしばらく沢のなかを歩いたが、ここでは沢の両崖に下流側に急傾斜するギルバート型フォアセット堆積物がつづき、なかなか見ごたえがある(写真17)。これらの堆積物は一般的に成層し、急傾斜(20°)した無秩序型礫岩(岩相G1-b)、弱成層型礫岩(岩相G2-b)、成層型礫岩(岩相G3)、級化型礫岩(岩相G4)、逆-正級化型礫岩(岩相G5-a)、および挟在する薄い泥質砂岩から構成されている。この礫岩を主体とするフォアセット堆積物は、東へ露頭CT-F-4までつづくが、そこから東には、急に葉理の発達した薄い級化型砂岩を時折挟在する厚い泥質砂岩に変わり、傾斜はやはり20°前後で東に傾く。ファン博士は、これら堆積物をギルバート型トウセット堆積物もしくは細粒型のギルバート型フォアセット堆積物と解釈するとともに、突発的な構造運動による後背地の変化によって堆積物の粒度が急激に減少したと考えているということである。



写真18 トウセット(もしくは細粒型フォアセット)堆積物中の礫岩(足元)とそれを覆う下流側の砂岩泥岩互層(露頭CT-B-0a).



写真20 山腹でみられる細粒堆積物に発達する大規模なチャンネル埋積型礫岩(露頭CT-B-0b). 写真の左上から右下へ出っ張って影になっている部分が礫岩の基底にあたる.



写真19 大きな礫を含む砂岩泥岩互層(露頭CT-B-0a).

ギルバート型トウセット堆積物(露頭CT-B0-a)

チョンコクサ寺院東方の沢沿いの露頭で,ここでは泥質砂岩を浸食して発達する厚さ5m前後のチャンネル性の礫岩の上位を再び泥質砂岩が覆っている(写真18). 泥質砂岩中には,ところどころに厚さ数10cm以下の葉理の発達した級化砂岩が挟在するが,そうでない場合は均質塊状な泥質砂岩である. 挟在する級化砂岩は低濃度混濁流によって運搬されたタービ

ダイト砂岩と考えられるが,ところどころに大きな硬質礫を単体で含んでいるのが目立つ(写真19). これらは, Sohn *et al.* (1997)が論じているように,先に非粘着性土石流によって逆級化型礫岩としてフォアセット面上に堆積した結果,傾斜が急な海底面(フォアセット面)に押し上げられた大礫や巨礫といった大きな礫が,そのあとに流下してきた混濁流に取り込まれてトウセット面に再堆積したか,あるいは大きな礫が単体で転げ落ちてトウセット面に達したのちにその後流れてきた混濁流に覆われたのかもしれない. いずれにせよ,大小の硬質礫が級化砂岩中に単体で取り込まれているのがひとつの特徴であり,これはファンデルタのトウセット(フォアセット)で形成されたタービダイト砂岩のひとつの特徴であるのかもしれない.

ギルバート型トウセット堆積物(露頭CT-B0-b)

本露頭は,沢沿いの露頭CT-B0-aの北側の山の斜面を数10m登ったところにある山腹の崖である(写真20). 本露頭の下部は,葉理の発達した級化型砂岩(岩相S-1b, S3-bおよびS4)を挟在する厚層均質な泥質砂岩(M1-b)で代表される. これらは,基底に大型の浸食面を有する厚層(融合した?)の無秩序型および弱成層型礫岩(岩相G1-b, G1-cおよびG2-b)で覆われる. 本礫岩は,層的には,沢のなかでみたCT-



写真21 沢沿いに出てくる大規模なチャネル埋積礫岩の
下流側(下方)延長部(露頭CT-B-1)。

B0-aより上位にあたる別の礫岩であり、規模も大きい。礫岩中には浸食によって取込んだ大型(径が1m以上)の泥岩同時浸食礫もみられる。礫は、淘汰の悪い砂および泥質砂基質の中の礫支持か基質支持であり、基底は明瞭なチャネル性の浸食面である。下位の砂岩層の一部は変形している。礫岩体は厚層(厚さ50m以下)で側方によく連続し、走向方向に数km以上、傾斜方向に数百m以上追跡できるという。本礫岩体は、おそらく、フォアセットのなかの大規模なチャネルで形成されたものであると思われる。貧淘汰の基質および大規模な泥岩同時浸食礫の存在は、本礫岩は、おそらくは急勾配のフォアセット面の崩壊に端を発して生じた土石流によって形成されたものと考えられるということである。

ギルバート型トウセット堆積物(露頭Ct-B2, B3, B4)

山腹の崖で本礫岩を観察したあと、再び下の道路沿いの沢にもどり、露頭Ct-B0-aを経て、さらに東に下流方向へ歩くと、沢の両側にまとまった礫岩体が観察される(写真21)。これは山腹の露頭Ct-B0-bでみた礫岩の下流側延長礫岩であるという。この礫岩のなかを歩いていくと、崖の上部に小さくぼみがある。案内者のファン博士は、調査当時、このくぼみを雨宿り用のシェルターとして利用したということである(写真22)。また、露頭CT-B2付近では、斜面を転がっていくときに雪だるまのように大きくなってできた巨大なア



写真22 大規模なチャネル埋積礫岩(無秩序型礫岩)のなかを歩く。右手奥の上部にみられる凹みは、ファン博士がかつて調査中に雨宿り用のシェルターとしてよく利用したという。



写真23 巨大なアーマードマッドボールか？(露頭CT-B-2)。説明は本文参照。

ーマードマッドボールと解釈される礫の集合体のようなものが礫岩中に観察された(写真23)。

礫岩は下位では、無秩序型が目立ったが、下流側すなわち上位にいくにつれ、礫の淘汰もよくなり成層型などより整然とした岩相が目立つようになる。露頭



写真24 成層した礫岩(露頭CT-B-3).



写真26 プロデルタ堆積物中の厚層タービダイト(メガタービダイト)砂岩(露頭Hc-P-2).



写真25 礫質タービダイト基底にみられる大規模な堆積同時性変形構造(露頭CT-B-4).

CT-B3では、無秩序型、弱成層型および級化型礫岩および礫質砂岩(それぞれG1-b, G-2b & G4), および葉理の発達した級化型砂岩(S3-b & S4)で特徴づけられる。礫は、中ないし良程度の淘汰度を有する砂の基質のなかの基質支持ないし礫支持である。比較的秩序だった礫のファブリック、泥岩基質の欠如、および級化構造の存在は、非粘着性土石流もしくは高濃度混濁流からの沈積を暗示している(写真24)。

沢をさらに下流の東方向に進んでいくと、比較的まとまった泥質砂岩の上位に重なる厚い礫岩が観察される(露頭CT-B4)。泥質砂岩と本礫岩層の境界部や

その下位の泥質砂岩部には、数mオーダーの大規模なフレーム構造や荷重痕、褶曲状の変形構造といった堆積同時性変形構造が観察される(写真25)。礫岩は、貧淘汰の砂もしくは泥質砂岩中の基質支持もしくは礫支持で配列はランダムである。こうしたことから、本礫岩は高濃度混濁流や土石流からの堆積と考えられる。

このようにギルバート型トウセット堆積物には、泥質砂岩中にフォアセット堆積物の崩壊に由来すると思われる大小の厚さの礫岩や礫質砂岩が観察されるとともに、その前後には各種の変形構造が観察されるのが特徴である。

マスフロー卓越型のプロデルタ堆積物(露頭Hc-P-2, Hc-P-3)

露頭CT-B4の観察を終えた後、沢から道路にあがって東に向かい、チョンゴクサ貯水池を過ぎ、ハクチョン村の手前で南西方向に伸びる支沢沿いに歩いたところにあるのが露頭Hc-P-2である。本露頭の堆積物は、非常に厚い正級化した礫岩-砂岩(G4-S4)で代表される(写真26)。基底付近には、厚さ1m前後の円摩された小礫および中礫大の礫(径13cm以下)から成る無秩序型、礫支持礫岩ユニットが観察される。それを覆う砂岩は厚さ約7mで正級化する。ここでは、砂は大部分が極粗粒砂から細礫が広く散った中粒~極細粒砂から構成され、特大の礫や泥岩同時侵食礫(泥岩クラスト)が普通に出現する。この砂岩



写真27 プロデルタ堆積物中の小規模なチャネル充填礫岩・砂岩 (露頭Hc-P-3).

は谷に沿って4km以上追跡でき、層序対比の鍵層としても大変重要な役割をしているという(Kim and Chough, 2000). 本堆積物は、おそらく沿岸砂の再堆積作用によって起きた大規模なタービダイト(メガタービダイト)と解釈されている。

支沢から本流にもどってすぐの下流側にある崖が露頭Hc-P-3である(写真27). ここでは、いくつかの小さなチャネルを充填する級化砂岩や含礫級化砂岩、級化礫岩が泥岩中に観察される。含礫級化砂岩中の礫は円磨された大礫が主体で中礫がほとんど含まれず、砂サイズと大礫サイズというバイモーダルな粒度組成を示すという。これらの堆積物は、高濃度混濁流や非粘着性土石流として泥岩が堆積するプロデルタに運搬され堆積したものと解釈されている。

スロープエプロン堆積物(露頭Hc-S-1)

本露頭は、ハクチョン村東方の道路から少し入ったところにある本流沿いの崖(露頭Hc-S-1)である。本露頭は、薄い砂岩を挟在する泥岩によって特徴づけられる(写真28)。泥岩の色は黄灰色で、厚さは変化に富む(25~170cm)。シルト大および砂粒大の粒子(主に石英と長石)および生物片(主に有孔虫および珪藻化石)が粘土基質の中に不規則に分布している。植物片および褐炭片も普通に含まれている。砂岩は中程度に淘汰され、厚さは5-10cmである。X線透過写真によると、砂岩ユニット(約5cmの厚さ)の上部に多くの水平葉理がみられる。砂岩は泥岩同時浸



写真28 タービダイト砂岩(白色部)を挟在する泥岩から成るスロープエプロン堆積物(露頭Hc-S-1).

食礫および褐炭片を含む。砂岩ユニットの基底には、シュードノジュールやフレーム構造および荷重痕なども観察される。

砂岩は、海底チャネルの末端部での流れの急速な拡大によって形成されたシート状の層が形成されている堆積ロウブの末端部で、低密度混濁流によって形成されたのに対して、泥岩は細粒の碎屑粒子が粒子ごとに沈積して形成されたと考えられている。

スロープエプロン~堆積盆底堆積物(露頭Hc-S-2)

本露頭は、露頭Hc-S-1から約1kmほど東に行ったところにある高層マンション横の崖である(写真29)。本露頭の下部は薄い(<10cm)砂岩層がときおり挟在する黄灰色の泥岩から構成される。本泥岩は明瞭な境界でもって明黄灰色の泥岩で覆われる。下位の泥岩は豊富な碎屑粒子を含むが、一方それを覆う泥岩は豊富な生物起源粒子を含む。この境界は堆積盆全体にわたって広く出現するという。

下位の泥岩は、河口で分離した細粒の碎屑粒子が粒子ごとに沈積することによって形成された。一部は、低密度混濁流によって運搬された。その上位を覆う泥岩は、カリフォルニアのモンテレイ層、日本海(東海)や北部太平洋の中新世珪質堆積物中のポーセラナイトに似ており、生物粒子や碎屑粒子の半遠洋域での沈積を代表すると考えられている(写真30)。この泥岩は、広い範囲でトウムサン ファンデルタ堆積



写真29 陸源碎屑粒子の富む泥岩とそれを覆う珪質泥岩(露頭Hc-S-2)。両者の境界はシャープである。



写真30 珪質泥岩は軽くて陸源碎屑粒子をほとんど含まず、半遠洋性泥岩と考えられる。ファンデルタ堆積物を広く覆い、ファンデルタの成長が終わったことを示している。手で感触を確かめているのは、キョンブク大学の大学院生(露頭Hc-S-2)。

物を覆うということである。

トウムサン ファンデルタ堆積物の調査は、ジョンコク貯水池ルートに半日、チョンコクサ寺院-ハクチョン村ルートに1日半、計2日かけて行われた。そして、以上に説明したように、トウムサン ファンデルタを構成するそれぞれの堆積環境下で形成された堆積物を、供給源に近い側から沖合へ向けて、順に通りに観察したことになる。

10. トウムサン ファンデルタ発達過程にみられる4つのステージ

トウムサン ファンデルタを構成する堆積物およびそれを覆う堆積物の特徴から、その形成過程には、次のような4つの段階、ステージがみられるという。

第一段階(ステージ1): 浅海成ファンデルタ形成期(前期中新世?)

トウムサン ファンデルタは、浅海域に前進しながら、沖積錐、沖積扇状地、漸移帯がまず形成された。堆積盆の急速な沈降と堆積物の高い供給速度によって、浅海域のファンデルタからギルバート型ファンデルタへと変化していった(第12、第13図のユニットD-1堆積期)。

第二段階(ステージ2): 急速な沈降による深海成ギルバート型ファンデルタ形成期(中期中新世初期)

南北方向東落ちの正断層の形成にともなう堆積盆

底の急速な沈降により、第一段階で形成されたギルバート型トップセット堆積物を浸食面を介して、高さ150mのギルバート型フォアセット堆積物が直接覆い、1kmにわたって沖合に前進するという深海成のギルバート型ファンデルタが礫などの大量の粗粒堆積物の供給をともないながら形成された(第13図のユニットD-2堆積期)。

第三段階(ステージ3): 細粒堆積物供給期(中期中新世)

礫岩主体のフォアセット堆積物から突然細粒化し、泥質砂岩主体のフォアセット堆積物や砂質泥岩主体のプロデルタ堆積物、泥岩主体のスロープエプロン堆積物の形成時期へと変化した。テクトニックな運動が供給源の供給システムに影響を与えたと考えられている(第13図のユニットD-3堆積期)。

第四段階(ステージ4): 半遠洋性泥岩堆積期(後期中新世?)

碎屑粒子をほとんど含まない珪藻化石に富んだ明黄灰色泥岩の堆積期で、下位の碎屑粒子を豊富に含む泥岩との境界はどこでも明瞭である。ファンデルタ堆積物を広く覆うことから、堆積盆全体が深化し、半遠洋的な環境に変わったことを意味している(第13図のユニットD-4堆積期)。

トウムサン ファンデルタ堆積物とそれを覆う堆積物

にみられるこれら4つのステージは、ファンデルタのタイプによって現われ方に多少の違いはあっても、ポハン堆積盆のファンデルタ堆積物に共通してみられ、ポハン堆積盆の発達過程と密接に関連した現象といえるということである(Hwang *et al.*, 1995).

11. おわりに

中新世の日本海(東海)拡大問題を考える際には、日本海西端部にあたる韓国(韓半島)とその周辺の第三紀層特に中新世の堆積物の特徴やその形成機構を理解しておくことが大変重要である。本報告では、日本海拡大最盛期に西端の海陸境界部で形成されたファンデルタ群のうち最も代表的なトウムサン ファンデルタについて、特に堆積物と堆積様式の特徴に焦点をあてて述べた。最初にも指摘しているように、本調査・研究は、韓国科学技術部の国際共同研究促進費の援助を得て行われたものであり、実現にご協力いただいた関係者の皆さんに感謝したい。最後に、石炭試料の反射率測定を行った産総研地圏資源環境研究部門研究員の小田 浩氏、本報告の図面の作成にご協力いただいた契約職員の征矢優香子氏、粗稿に対して多くの貴重なご意見をいただいた地質ニュース編集委員会の皆様にお礼を申し上げておわりとします。

文 献

- Choe, M. Y. and Chough, S. K. (1988) : The Hunghae Formation, SE Korea: Miocene debris aprons in a back-arc intraslope basin. *Sedimentology*, 35, 239-255.
- Chough, S. K. and Hwang, I. G. (1997) : The Duksung fan delta, SE Korea: Growth of delta lobes on a Gilbert-type topset in response to relative sea-level rise. *J. Sedimentary Research*, 67, 725-739.
- Chough, S. K., Hwang, I. G. and Choe, M. Y. (1989) : The Miocene Doumsan fan-delta, southeast Korea: a composite fan-delta system in back-arc margin. *J. Sedimentary Petrology*, 60, 445-455.
- Gilbert, G. K. (1885) : The topographic features of lake shores, U. S. Geol. Surv., 5th. Ann. Rept., 69-123.
- Hwang, I. G. (1993MS) : Fan-delta systems in the Pohang Basin (Miocene), SE Korea. Unpub. Ph.D. Thesis, Seoul Natl. Univ., 923pp.
- Hwang, I. G. and Chough, S. K. (1990) : The Miocene Chunbuk Formation, southeastern Korea: marine Gilbert-type fan-delta system. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 10, 235-254.
- Hwang, I. G. and Chough, S. K. (2000) : The Maesan fan delta, Miocene Pohang Basin, SE Korea: architecture and depositional processes of a high-gradient fan-delta-fed slope system. *Sedimentology*, 47, 995-1010.
- Hwang, I. G., Chough, S. K. and Choe, M. Y. (2002) : The Doumsan fan delta: Gilbert-type fan-delta system in the Miocene Pohang Basin, SE Korea. *Field Excursion Guidebook for Korea-Japan Seminar*, Sep. 26-28, 2002, Gyeongju, Korea.
- Hwang, I. G., Chough, S. K., Hong, S. W. and Choe, M. Y. (1995) : Controls and evolution of fan delta systems in the Miocene Pohang Basin, SE Korea. *Sedimentary Geology*, 98, 147-179.
- Kim, J. W. and Chough, S. K. (2000) : A gravel lobe deposits in the prodelta of the Doumsan fan delta (Miocene), SE Korea. *Sedimentary Geology*, 130, 183-203.
- Sohn, Y. K., Kim, S. B., Hwang, I. G., Bahk, J. J., Choe, M. Y. and Chough, S. K. (1997) : Characteristics and depositional processes of large-scale gravelly Gilbert-type foresets in the Miocene Doumsan fan delta, Pohang basin, SE Korea. *J. Sedimentary Research*, 67, 130-141.
- 徳橋秀一 (2004) : 韓半島南部縦断地質巡検記。地質ニュース, no. 598, 37-62.
- Yoon, S. H. and Chough, S. K. (1995) : Regional strike slip in the eastern continental margin of Korea and its tectonic implications for the evolution of Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Geol. Soc. America Bulletin*, 107, 83-97.
- Yoon, S. H., Chough, S. K. and Park, S. J. (2003) : Sequence model and its application to a Miocene shelf-slope system in the tectonically active Ulleung Basin margin, East Sea (Sea of Japan). *Marine and Petroleum Geology*, 20, 1089-1103.
- TOKUHASHI Shuichi, HWANG In-Gul, SON Byeong-Kook, SUZUKI Yuichiro, KANEKO Nobuyuki, LEE Ho-Young and KIM Hag-Ju (2006) : Features of the deposits and depositional system of Miocene Doumsan Fan-delta in Tertiary Pohang Basin, SE Korea: Sedimentary process at the westernmost margin of Sea of Japan (East Sea) during its maximum opening age.

<受付: 2006年1月30日>