炭層と夾炭層の後生的堆積構造

—新しい石炭地質学—

村 岡 次 郎*

Secondary Sedimentary Structures of the Coal Beds and Coal-bearing Formations

—Modern coal geology—

Jiro MURAOKA *

Abstract

Secondary sedimentary structures of the coal beds and coal-bearing formations provide significant information for depositional environments as well as primary ones. However systematic geological investigation for them has not been reported except for washout. Succeeding to the previous reports (Muraoka, 1997a, b), secondary sedimentary structures which were observed by the writer are described and investigated in terms of their origins and environments in order to utilize to basin analysis for coal exploration. Also the origin of coal beds is attributed to the peat deposits of geologic age from the various phenomena observed in these sedimentary structures.

Secondary sedimentary structures of the coal beds are subdivided and described as follows:

- 1) Washout: 1. Washout by the overlying sandstone bed; 2. Deep washout eroding a few coal beds; 3. Coastal washout; 4. Glacial washout.
- 2) Mudstone dyke and associated displacement.
- 3) Fissure filling.
- 4) Concentration of sulphur caused by bioturbation and degradation of peat.

Secondary sedimentary structures of the coal-bearing formations are subdivided and described as follows:

- 1) Slumping: 1. Rotational slide of the cliff; 2. Normal slumping and reverse slumping; 3. Slumping of large scale which can be esteemed by slump deposits.
- 2) Slump deposits: 1. Sandstone gravel in mudstone; 2. Sedimentary autobreccia.

Key words: secondary sedimentary structure, washout, coastal washout, mudstone dyke, fissure filling, slumping, slump deposit

キーワード: 後生的堆積構造, 洗掘, 沿岸部の洗掘, 泥岩脈, 割れ目充填構造, スランピング, スランブ堆積物

* 日本海洋掘削株式会社

* JAPAN DRILLING Co., Ltd.

I. はじめに

村岡 (1997a) では、新しい石炭資源探査技術として岩相コード法の採用-堆積モデルの作成-古地理の復元を行ない、炭層の分布およびその形態と質の変化を検討する堆積盆解析について述べた。続報 (村岡, 1997b) では炭層の初生的堆積構造を堆積モデルで示して、それらが堆積盆の沈降-水位の変動-碎屑物の供給量などの堆積環境の変化を鋭敏に反映していることを述べた。本稿では炭層と夾炭層が堆積した後に形成された後生的堆積構造について述べ、炭層の成因について考えられることを述べる。これらの後生的堆積構造は、初生的堆積構造と同様に堆積環境を反映し、炭層の分布ならびに形態と質の変化に影響しているため、石炭資源の探査にはこれらの知識が不可欠である。とくに後生的堆積構造は炭層の形態を急激に変化させ、最悪の場合には炭層を消失させるために、鉱業上重大な打撃を与えかねない。夾炭層の後生的堆積構造については、洗掘 (washout) は古くから研究されていた (Raistrick and Marshall, 1939; 坂倉, 1964) が、スランピング (slumping) は、とくに夾炭層中に存在するものを論じた文献が少なく、探査技術者にとっては十分な知識が得難かった。むしろ堆積後、地下水の移動などによって生じる現象も後生的堆積構造に含まれようが、本稿は探査技術者が野外調査で観察し判断できる地質現象に限って論じることとする。

II. 炭層に現われる後生的堆積構造

1) 洗掘 (washout)

洗掘とは炭層が堆積した直後、あるいはその後に、河川・沿岸流と波浪・氷河などの営力によって炭層の上部あるいは全体が浸食され、それらの営力で運搬されて来た碎屑物によって被覆された堆積構造である。石炭採掘の障害として古くから知られており、Raistrick and Marshall (1939) は wash として次の 5 型を記載している。

RM1 型: レンズ状のはさみによる分岐

RM2 型: 炭層の上位に堆積した砂岩による洗掘

RM3 型: 複数の炭層が受ける深い洗掘

RM4 型: 地震が原因の洗掘

RM5 型: 氷河による洗掘

本稿では洗掘をその成因によって 4 型に区分する。彼らの記載と異なる、あるいは追加した点は次のとおりである。

RM1 型は、筆者のレンズ状のはさみによる分岐 (村岡, 1997b, 図 9 の B), ならびに放棄流路堆積物 (同図 8) と等しい。

RM2 と RM3 型は本稿と等しいが、彼らの研究以降に明らかになった資料を用いて、この現象と堆積環境の関係を述べる。

RM4 型については、形状は似ているが成因の異なる現象を、割れ目充填構造として定義する。

RM5 型は、彼らが記載した石炭系の炭層よりも新しい、筆者の観察した第三系の炭層に観察される現象を述べる。

これらの他に沿岸部の洗掘を新たに定義して述べる。

1. 炭層の上位に堆積した砂岩による洗掘 (RM2 型)

炭層を覆う岩石を鉱業上、天盤 (roof) と呼ぶ。天盤は泥岩が多く、砂岩の例は比較的少ない。この理由は次のように考えられる。

- ・泥炭地の生成が終了して圧密沈下が始まっても、しばらくの間は水深の浅いマッドフラットの状態が維持されて有機質に富む泥質層が堆積する。
- ・やがて沈降-圧密沈下が進んで分流が侵入できる勾配に達し、分流がベッドロードで運搬する砂層を堆積させる。

造山帯の堆積盆などの沈降の速い堆積盆では、放棄泥炭地 (デルタロープ堆積の末期に形成された泥炭地が沈降・冠水して泥炭の生成が終了した状況を示す) は比較的薄い泥岩に覆われるが、続いてデルタフロントや河川堆積相を示す砂岩に覆われる。炭層を覆う泥岩などが広域に洗掘されても、炭層が削剥されるのは稀で、炭層は洗掘してきた砂岩に直接覆われるのが普通である。ただし稀には炭層の半ばまで削剥されている例もある (村岡, 1997b, 図 5)。この事実は碎屑物層は容易に浸食されても、泥炭層は浸食に抵抗する強いマッ

図 1 炭層の上に堆積した砂岩の洗掘。

サラワク、メリット・ピラ地区の中新統ニャラウ層は山間湖成堆積盆に堆積し、炭層群はモラッセ相を示す砂岩帯の周囲に堆積している。炭層群はモラッセ帯から延びてくる河川堆積相砂岩に洗掘されている。洗掘基底には写真1に示すa型スランプ堆積物がある (NEDO, 1996)。

ト状の組織があったことを示す。また日本などでは比較的まれなのは、造山帯の堆積盆であるために傾動が激しかったので、河川の勾配が大きく川底を浸食して流れる必要が少なかったことを示す。

造山帯ではあるが、山間湖成堆積盆の洗掘の例を図1と写真1に示す (NEDO, 1996)。この例はサラワクの中央に分布する中新世のニャラウ層 (Nyalau Formation) 中に観察されたものである。同層は2地区に分かれて分布する。海岸に面したビンツール (Bintulu) 地区では、デルタ堆積相に炭層を夾在するのが特徴である。デルタ堆積相ではあるが潮間帯 (tidal flat) 相が卓越し、プロデルタ相が特徴であるセタッ層 (Setap Formation) と指交漸移している。このデルタ堆積相は、古第三系のベラガ層が造山運動によって隆起して形成した山地と南シナ海の間に形成されている。

その南側に分離しているメリット・ピラ (Merit-Pila) 地区はベラガ層に囲まれる山間湖

成堆積盆で、多数の厚い炭層を夾在している。この例はメリット・ピラ地区において観察されたもので、炭層群はモラッセ相を示す砂岩帯の周囲に分布し、河川堆積相砂岩によって洗掘されている。洗掘の基底には河岸が崩壊して滑り落ちた直径5 m 程度の炭層を含む地塊群が認められる (写真1)。

バックアークなどの沈降の緩やかな巨大堆積盆では、放棄泥炭地は厚い泥岩や石灰岩に覆われ、徐々に沈降-密沈下が進んで、分流の流入が可能な勾配になって、初めて洗掘を伴う河川堆積相の砂岩が堆積していることが多い。この例には米国西部の白亜系堆積盆 (Vaninetti, 1978), およびアパラシア堆積盆 (Horne *et al.*, 1978) の研究がある。両堆積盆ともに洗掘は普遍的な現象であり、とくに上部デルタ相当域には河川堆積層が卓越して、その基底は大規模な洗掘を伴っているものが多い。これらの巨大な堆積盆は、造山帯の堆積盆と比較すれば沈降が緩慢で泥岩などの堆積期間が長く、その後に流入する河川は激しく川床の泥炭

写真 1 炭層の上位に堆積した砂岩の洗掘。

図1と同じ場所。左側の人物が立っている地塊は、炭層を含むブロックがa型スランプの結果滑落して洗掘の基底に堆積したものである (NEDO, 1996)。

などの堆積物を浸食し、浸食と同時に砂層を堆積させたことを示している。筆者が解析した米国西部堆積盆のユタ州の例では、重なり合った厚さ3mを超える3炭層がそれぞれ洗掘されて薄化している。薄化帯は幅500m~2kmで堆積傾斜方向に6~10kmも蛇行しながら連続している。上位の炭層の洗掘帯は下位のものに隣接する位置にある。この現象は、下位に洗掘した砂岩層がある個所では圧密沈下が少ないために、流路として避けられたことを示唆する。これらの洗掘は水平的にかなりの距離にわたって連続し、堅硬な砂岩で充填されているので、採掘時にはこの区間の岩石を突破してその先に到達しなければならない。

2. 複数の炭層が受ける深い洗掘 (RM3型)

炭層上位の砂層がもたらす洗掘は、浸食される深さが比較的浅いが、数層の炭層まで深く洗掘されている例が、レトロアーク堆積盆である米国のイリノイ堆積盆から報告されている (Potter and Simon, 1961)。主要炭層の Herrin Coal は幅3~8km、延長約300kmにわたって洗掘されている。その深さは50mにも達し、Herrin Coalのみならず30m下位の炭層も洗掘され、洗掘跡には Anvil Rock Sandstone と命名された砂岩が堆積している。これは一度の洗掘によって形成されたものではなく、同一流路に数次の洗掘が繰り返したものと解釈されている (Potter and Simon, 1961)。炭層が洗掘に接近すると砂岩のは

さみや炭層の分岐が顕著になっている。これは、炭層堆積中にも同じ位置に河川が存在したことを示唆する。この堆積盆は極めて沈降の緩かな内海にデルタがプログラデートして形成されたものであるところから、低平な下部デルタ環境で、河川は同一流路を流れて洗掘を繰り返し、1回の洗掘は最高でも層厚数m程度であったものと考えられる。この洗掘は炭層を消失させているが、周囲の炭層の硫黄分を低下させている利点があるために、集中的に探査・採掘されている。

3. 沿岸部の洗掘 (新定義)

バックアークなどの巨大堆積盆では、一般にプラットフォームに侵入した浅海にプログラデートしたデルタロープが泥炭地になり、海や湖の沿岸に沿っては砂州 (barrier sand) が、河川に沿っては自然堤防が形成され、泥炭地を河川や潮流などの営力から保護していたことが多くの研究で実証されている (Weimer, 1976; Horne *et al.*, 1978; Lawrence, 1982ほか)。沿岸に沿って保護する堆積物がない場合には、沿岸洗掘が見られることがある。その例をアパラシア堆積盆の Allegheny 層の炭層の例で示す (図2)。炭層は図の右側に向かってはさみが次第に厚くなり、上部は分岐して上炭になるが、やがてA点に至って再び接近する。そしてすぐに洗掘されて砂岩Bに被覆されている。この現象は次のような過程で生成したものと解釈される。

図 2 沿岸部の洗掘と泥岩脈。

米国，ペンシルヴァニア州，Allegheny 層中の炭層．水平距離はフィート（'），厚さはインチ（''）で表示する．分岐をもたらしたはさみは A 点で沿岸部の洗掘を受けてその上部が流失した．上炭は下位のはさが流出しても残存し浮上していた．やがて砂岩 B が沿岸に沿って洗掘を伴い堆積した．その荷重で浮上していた上炭は，はさみの流失した区間を沈下した．

- ・炭層になった泥炭層は湖の周囲に堆積し，沖に向かって分岐していた．湖岸には沿岸流や波浪が作用し，泥炭層を浸食した．碎屑物からなるはさみの部分は浸食に抵抗できないので，A の上部までが流出したが，その上の上炭はマット状組織のために浸食に抵抗して浮上していた．
- ・やがて泥炭地が沈降して，沿岸流と波浪が湖岸に沿って激しく浸食しながら，上炭の上に B の砂層を堆積させた．そして，浮上していた上炭は支持されていないので，流出されずに残っているはさみの上の A 点まで沈下した．その結果，分岐した上炭が再び下位の石炭部分に合層し，炭層を分岐させたはさが急激に薄化しているものと解釈できる．この砂岩 B は淘汰が良く堆積走向方向に延長しているので，比較的淘汰が悪く堆積傾斜方向に延長する河川堆積砂岩と区別できる．

この沿岸部の洗掘は，造山帯の石狩炭田でも稀な例（村岡，1997b，図 3）として観察されている．

4. 氷河による洗掘（RM5 型に別な現象を追加）
堆積盆が氷河の運動にさらされると大規模な浸食を受けるのはむしろであるが，さらに浸食面の直下に独特な堆積構造が形成される．筆者が観察したカナダのアウトーフットヒルズの例（村岡，1997b，図 8）では，古第三系の基底とされる炭層が第四紀の氷河運動によって大規模な浸食を受け，同時に不整合面直下の炭層は小規模に褶曲している．この褶曲部分の炭層は，泥岩のはさみの部分のみが水平距離 2～3 m にわたって氷河堆積物の未固結砂層に置換されている．この例は褐炭程度まで石炭化が進んだ炭層でも，石炭部分のはさみの泥岩と比較して浸食に対して強い抵抗力を有していたことを示している．

2) 泥岩脈とそれに伴う擾乱

夾炭層は圧密と続成作用の過程で水とガスを放出する．この水やガスは上位の地層に形成される割れ目を通して排出され，割れ目には下位から運搬されてきた粘土や砂が充填されて，碎屑岩脈が

写真 2 泥岩脈。

タイ国北西区域, Lamthong Lignite Co., Ltd. の Mae Lai 褐炭坑。炭層直下の泥岩の一部が炭層の割れ目群に沿って上昇している。

形成される(写真2)。この現象は、バックアーク堆積盆や山間湖成堆積盆などに堆積した炭層の中で、厚い泥岩に覆われる炭層に顕著である。日本の堆積盆に稀であるのは、炭層は薄い泥岩に覆われ、その上は厚い砂岩が多いので、ガスや水が砂岩を通過して排出されたためであろう。アパラシヤ堆積盆の泥岩が卓越している区域には、図2に示すように数次の脈が複合してあたかもはさみのように発達している例がある。

このほか湖成堆積盆の炭層が厚い泥岩や粘土岩に直接覆われている場合、炭層の上部が局部的に直立している現象が見られることがある。この構造は一見すると断層と間違えやすいが、直立した狭い部分の両側の地層は移動していないので、水とガスが爆発的に排出された際に形成した割れ目に沿う、小規模な擾乱構造と考えるのが妥当である。通常の碎屑岩脈は幅が狭く軟質なので石炭の品質は劣化させるが、採掘には支障がない。しかし大規模な砂岩脈が発達している場合には採掘の障害になる。釧路炭田では大規模な砂岩脈が観察

されるが、これは堆積成ではなく後期のテクトニクな成因による亀裂に、地表から崩落した碎屑物が充填して生じたものとされている(深田地質研究所, 1995)。

3) 割れ目充填構造(Fissure filling)

既述の粘土岩脈等は下位の堆積物が上方に侵入した現象であるが、逆に上位の碎屑物が炭層に侵入した現象がある。Raistrick and Marshall (1939) の RM4 型は炭層の上に堆積した砂層が炭層の中に入し、ギザギザの断面をなす岩脈を形成したものである。彼はこの成因を、「地震で形成された地割れに上位の堆積物が侵入したもの」と解釈している。同様の現象が上述のビンツール地区のニャラウ層に確認された(NEDO, 1994: 図3)。屈曲したシルト岩脈が厚さ1.5 mの炭層の上半分に密集して垂れ下がっている。炭層は薄いシルト岩に直接覆われ、さらにその上には厚い中粒砂岩が載っている。この原因は次のように考えられる。

- ・地層が堆積後に傾動し、厚い砂層が下位の地層に剪断応力を与え、そのために炭層に割れ目が生じた。
- ・その割れ目には炭層と砂層の間にある薄いシルト層が押し込まれた。
- ・当初は泥炭層の中に直線として形成された割れ目は、泥炭が石炭に変化していく圧密と続成作用の過程で著しく層厚を減少し、屈曲変形した。同様な割れ目充填構造が砂岩層にも観察された(写真3)。この場合の割れ目は直線状であり、圧縮と変形は認められない。

もしも炭層の成因が倒木説ならば、炭層が堆積した時には分離した個々の倒木の集合体であるから、このような割れ目は形成されずに炭層の中に滑り面が形成されたであろう。この現象も炭層の成因がマット状の組織を有する泥炭層である説を裏付ける(村岡, 1997a)。

4) 硫黄分の濃縮

炭層に含まれる硫黄分の成因については多数の研究(Shimoyama, 1984 など)が発表されている。

一般には、炭層に含まれる硫黄分は、炭層が硫

図 3 割れ目充填構造サラワク，ビンツール地区の中新統ニャラウ層の成因と露頭。
現在観察される石炭化進行後の露頭（下図）から，不規則シルト脈の成因は上図の堆積直後の
想定のように考えられる。すなわち泥炭層の上に厚い砂層が堆積し，堆積盆の傾動の結果下位
の地層に左側に向く剪断応力を加えた。泥炭層の上部に剪断応力によって割れ目ができ，その
割れ目にシルト層が押し込まれた。泥炭の厚さは圧密と続成作用の過程で $1/10 \sim 1/20$ に縮小
し，垂直であったシルト脈は屈曲変形した（NEDO, 1996）。

写真 3 割れ目充填構造ビンツール区域
のニャラウ層。

割れ目はやや固結した砂層に形成された。
砂層は圧密が少ないので割れ目は変形し
ていない。

酸イオンに富む海成層に覆われていると多くなり，
淡水成の地層に覆われている場合には少ないもの
と判断できる。イリノイ堆積盆の例では，炭層は
海成泥岩や石灰岩に覆われることが多く硫黄分が
多いが，先述の河川成砂岩の洗掘に接近した区域
では，硫黄分が 1.5 % まで低下している。ちなみ
にイリノイ堆積盆の石炭資源は硫黄分が 2.5 % 以
下のものは全体の 6 % にすぎない（Intertec
Mining and Construction Group, 1996）。さら
に探査技術者として注目しなければならない現象
は，海成層に覆われた炭層で硫黄分が異常に多く
5 % を超えるほどの炭層と，淡水成地層に夾在さ
れていても硫黄分の多い炭層である。海成層に覆
われている炭層の中で，とくに生痕が密集した海
成層に覆われる炭層は，動物群が炭層中に掘った
巣穴の跡が黄鉄鉱で充填され，炭層の硫黄分をさ
らに増加させている。この例であるパキスタンの
ソルトレンジ（Salt Range）炭田では，黄鉄鉱
で充填された 10～20 cm の長さの巣穴が氷柱のよ

うに炭層の天盤から下がり、一般に4~7%の石炭の硫黄分を10%以上にしている。この動物群による硫黄分の固定に加えて考慮が必要なのは、堆積環境による地化学的影響である。アパラシア堆積盆において、気候がもたらす堆積環境の変化による地化学的要因を示した研究 (Donaldson *et al.*, 1985), また泥炭層の発達形態を加味して炭層の硫黄分と灰分の相関変化を実証的に明らかにした研究 (Cecil *et al.*, 1985) がある。それらを要約すると、「乾燥気候または酸素や栄養物を含む水が十分に供給される環境では、泥炭の分解が促進され、分解残留物である硫黄分と灰分が蓄積される。そして泥炭地はプランナー型の状態を維持しドーム型には発達しない。」との結論である。生痕の発達した海成層に覆われる炭層に異常に硫黄分が多くなっているのは、一般に還元環境の卓越する泥炭堆積の場と異なり、酸素と栄養分の供給が潤沢であったために泥炭の分解と同時に動物群の大繁殖をもたらし、硫黄分の固定が促進されたためであろう。東南アジアの山間湖成堆積盆の炭層にも著しく硫黄分の多い炭層がある。この代表にタイ国、Mae Moh 炭鉱の硫黄分 2.0~5.0% があり、他の堆積盆でも Mae Teeb, Pua, Mae Ramat, Sinpun など硫黄分が5%を超えている (石炭技術研究所, 1990)。この原因については海侵などの影響が検討されているが明確な証拠はない。筆者の石炭分析資料の検討では、碎屑物の混入していない石炭部分に限れば、硫黄分と灰分が相関する可能性が指摘できる。これらの高灰分で高硫黄分の炭層は、水の循環が良い酸化環境下で形成されたため、泥炭の分解が促進されたプランナー型泥炭地から生じたものと考えられる。また水の循環に伴って淡水棲軟体動物群が爆発的に繁殖したために硫黄分が固定された可能性がある。Mae Moh を含む主要な堆積盆の調査結果では、海の侵入の形跡は全く発見されておらず、近接した堆積盆には低灰分で硫黄分が2%以下の厚い炭層がある。これらの炭層は、還元環境が卓越したためドーム型になった泥炭地に起因するものと考えられる。

III. 夾炭層の後生的堆積構造

夾炭層の後生的堆積構造も炭層を変化させるので鉱業上の影響が大きく、また堆積環境の指標として堆積盆解析にも重要である。この中で最も重要なのがスランピングと、その結果形成されたスランプ堆積物 (slump deposits) である。

1) スランピング

水中のスランピングは氷河湖堆積物などに記載されていたが、各地のフリッシュ堆積物に普遍的に発達しているのが認められ (Fairbridge, 1946), Kuenen (1956) は5~10°の海底粘土層に発生しやすいと述べた。日本では秩父盆地の中新統の研究 (山内, 1977) などがある。これらの研究はほとんどがフリッシュ堆積物の中に形成されているスランピングを対象にしている。夾炭層中のスランピングは Thomas (1992) がカリマンタンの堆積物中に発達しているのを記載した。Coleman and Prior (1980) によれば、現世の大河川のデルタでは、水深の浅い区域では傾斜2°の緩斜面で、さらに沖部では傾斜0.5°の緩斜面でもスランピングが起きている。彼らは泥炭地ができる分流間内湾 (interdistributary bay) 末端には小型のボトルネック滑動 (bottleneck slide) が、デルタ斜面にエロンゲート滑落 (elongate slide) が形成されると述べている。

筆者らはビンツール堆積盆ニヤラウ層の調査に際して多くのスランピングを観察した (NEDO, 1994)。これらの観察の結果から、デルタ堆積相のスランピングは次の型に分類される (図4)。

- a 型: 陸上/水中での地層の円弧滑りによる滑落。
- b 型: 水中での固結しかかった地層の斜面下方への滑動と崩壊。
- b-1 型: 比較的小規模な、滑動した全体が残存して斜面上方には断層状の滑落崖、斜面下方には滑動部分が折り畳まれた褶曲構造を呈するもの。順型と逆型に分かれる。Coleman and Prior (1980) のボトルネック滑動と見なされる。順型は山内 (1977) の褶曲型の横臥褶曲状亜型に、逆型は断層型の衝上断層

a 型

写真 1

b-1 正常型

写真 4

b-1 逆型

写真 5

b-2 型

スランプ堆積物

小型の礫
写真 6

自破碎礫岩
写真 7

図 4 スランピングとスランプ堆積物模式図。

状亜型に相当する。

b-2 型：比較的大規模で斜面上方に滑落崖 (main headscarp) と滑落塊 (hummocky block) が、斜面下方には滑落塊が崩壊して自破碎礫岩 (sedimentary autobreccia)、さらには泥流となって延びるもの。Coleman and Prior (1980) のエロンゲート滑動と見なされる。この自破碎礫岩は山内 (1977) の破片型の泥基質亜型に相当する。

1. a 型のスランピング (図 4 の a 型)

深い洗掘ではその両側の地層が円弧滑りして滑落し、洗掘堆積物の基底を埋めている例がある (先述の洗掘：写真 1)。大規模な場合には地塊が階段状に滑落し、断層と誤認されやすい。先に述べたイリノイ堆積盆の深い洗掘にはこの型のスランピングが認められていないので、一度の洗掘深

度は比較的浅かったものと考えられる。夾炭層の内部あるいは夾炭層と他の地層との間が不整合あるいは非整合の場合は、浸食面の下位の地層にこの型のスランピングが発達している例がある。スランピングは下位の地層が深く浸食された谷地形の両側に発生し、地塊が階段状に滑落し、平行して発達する滑落面は階段状断層を呈する (Bristol and Howard, 1971, 1974)。

2. b-1 型のスランピング (図 4 の b-1 型)

この型のスランピングは斜面下方の褶曲構造が観察できれば、小規模の露頭でも判断しやすい。フリッシュ堆積層の大型露頭では容易に観察できるが、第三系の夾炭層は一般に固結の程度が悪く軟質なので大規模な露頭が少ない。そのため観察されなかったであろう。堆積盆の傾動が激しかった空知炭田においても報告例がほとんどなかった

写真 4 スランピング, b-1 正常型.

サラワク, ピンツール地区の中新統ニャラウ層. 向かって右側には斜面上方に形成された滑落崖が, 左側には斜面下方に形成された褶曲帯が見える (NEDO, 1994).

が, これは解釈が困難な局部的擾乱構造として扱われていた疑いがある。

ニャラウ層の中には, 滑動した部分が斜面の下側に移動して押し被さった正常型 (図4の b-1 正常型, 写真4) と, 斜面の下にもぐり込んだ逆型 (図4の b-1 逆型, 写真5) がある。ピンツール堆積盆では正常型よりも小規模な逆型が多く観察される。正常型と逆型の生成原因は次のように考えられる。

- ・斜面上の堆積物が不安定になり, 徐々に滑動して斜面上方が引っ張り切断され, 斜面下方が圧縮されて盛り上がる。
- ・盛り上がった部分が斜面下方に倒れると, 正常型になる。
- ・逆に斜面上方に倒れると, もぐり込んで逆型になる。

正常型と逆型の成因の違いは今のところとくに本質的なこととは考えていないが, 今後の研究課題としたい。

石炭資源が大規模に開発されている堆積盆にスランピングが稀であるのは, スランピングはデルタフロントに接近していた泥炭地の末端のみに起きて, 泥炭地の主要部分には発生しなかったためであろう。しかし堆積盆の傾動の激しかった造山帯などでは, 急速な沈降に伴い小型のデルタが形成されているので, スランピングが生じる可能性がある。ピンツール地区のニャラウ層に顕著に発達しているのは, 炭層堆積をもたらしたデルタ

が急斜面に形成された小型のものであり, デルタフロントに発生したスランピングがデルタ面にまで影響したことが多かったためであろう。この堆積盆の炭層群が限られた範囲のみに発達しているのも, デルタ面の狭隘さを示している。

3. b-2 型のスランピング (図4の b-2 型)

この型のスランピングは大規模であるために, その一部分のみが観察され, 全体を観察するのは不可能であろう。ニャラウ層の中にはこのスランピングの結果生じたスランプ堆積物が観察され, この型のスランピングの存在が推定される。

2) スランプ堆積物

1. 小型の礫 (図4の b-2 型, 写真6)

夾炭層の砂岩層, とくに洗掘している砂岩層の基底には, 泥岩角礫 (mudstone clast) が密集して含まれることが多い。これは河川が下位の固結しかかった泥層を洗掘し, 砂と同時に再堆積させることによって形成される。逆に泥岩中に砂岩の礫 (写真6) を含むのがニャラウ層中にかなりの頻度で観察される (NEDO, 1994)。これらの礫は, デルタの表面や斜面の上部に堆積したやや固結した砂層が, b-1 型のスランピングを起こして滑動して b-2 型にまで拡大し, 砂層は崩壊して礫になり, 下方に堆積している泥層の中に混入したものと考えられる。砂岩の礫には亀裂が発達しており (写真6), 固結しかかった状況で移動したことを示している。スランピングは大露頭に恵まれれば認定できるが, 小露頭では断層による擾乱構造

写真 5 スランピング, b-1 逆型サラワク, ピンツール地区の中新統ニャラウ層 (NEDO, 1994).

写真 6 スランブ堆積物, 小型の礫.
サラワク, ピンツール地区の中新統ニャラウ層. 泥岩に含まれる砂岩の礫には亀裂がある (NEDO, 1994).

写真 7 スランブ堆積物, 自破碎礫岩.
サラワク, ピンツール地区の中新統ニャラウ層最下部のビバン砂岩部層相当層準. 砂岩の巨礫はかなり円磨されている (NEDO, 1994).

と誤認される恐れがある。これに対してスランブ堆積物は小露头でも認定できることが多く、その場合には擾乱構造としていたものがスランピングの可能性あることに注意する必要がある。

2. 自破碎礫岩 (sedimentary autobreccia, 図4のb-2型, 写真7)

デルタフロントなどの厚い砂層にスランピングが起き、とくに大規模なb-2型になって地層が崩壊すると、地層が崩壊した場所に接近した位置に自破碎礫岩ができる。この典型がニャラウ層に認められる (NEDO, 1994)。同層の基底はビバン砂岩部層 (Biban Sandstone) と命名された厚いマッシュなデルタフロント砂岩からなる。模式地から約 15 km 離れた地点では、この層準は直径 30 cm 程度の円礫の密集層からなっている (写真7)。滑動を開始して全体が破碎され、破碎された各部分とも回転して球形の巨礫を形成したものと解釈される。

IV. ま と め

炭層と夾炭層の後生的堆積構造について、従来の記載を検討し、新たに筆者の観察したものを加え、成因に基づいて区分した。

炭層の洗掘については、従来記載されていない沿岸部のもの、氷河運動によるものを記載し4型に分類した。割れ目充填構造については堆積盆の傾動が原因となるものについて記載した。炭層中の硫黄分の濃縮については、従来の説に加えて動

物群の活動による硫黄の固定と、あわせて泥炭の分解が影響することを論じた。

夾炭層の後生的堆積構造であるスランピングは、従来フリッシュ堆積物で研究され、夾炭層中の記載は稀であった。筆者などが調査したサラワクのニャラウ層には炭層が夾在されるが、スランピングが頻繁に観察される。これらのスランピングを3型に区分し、大型のスランピングの際に形成される砂岩の礫を、2型のスランピング堆積物として述べた。

石炭資源の探査に際しては、堆積盆解析に、初生的および後生的堆積構造の解析結果を加えて堆積盆の発展過程を明らかにすることが効果的である。とくに炭層の堆積構造はその炭層の堆積環境を反映しているので、炭層の分布および形態と質の変化などの予測に重要である。

また炭層に観察される堆積構造は、炭層が堆積当時に浸食などの営力に対抗する強いマット状組織があったことを示している。これは炭層成因について従来の倒木説を否定し、最近明らかにされつつある炭層は地質時代の泥炭層であるとの説を支持している。

謝 辞

この稿で論じた後生的堆積構造は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が実施するところの、日本マレーシア石炭共同探査・中部サラワクプロジェクト、ならびに民間より受託した石炭資源探査プロジェクトなどに従事して調査・研究したものである。

とくにNEDOのプロジェクト実施にあたり、当時の担当課長であった佐藤良氏には堆積構造の重要性を理解して頂き、また石炭資源開発部の友田開発課長には本報告の認可を頂いた。このプロジェクトには住友石炭鉱業（株）の伊藤公彦、佐々木 貢、渡部英昭、畠田 学、三井鉱山エンジニアリング（株）の河口雄三、北星コンサルタント（株）の鈴木秀洋、コスモ資源コンサルト（株）の岩坪雅俊、青山秀夫、マレーシア地質調査所のGeri Ginungの各氏が参加し、ともに調査・検討した。a型のスランピングについては（株）ダイヤコンサルタントに勤務時に、武藤 章博士（現、室蘭工業大学教授）のご指導のもとに皆川 潤氏と研究した。コスモ資源コンサルト（株）の皆様には協力して頂き、とくに中添

亮博士と山本文博氏には討議と原稿の検討をお願いした。これらの皆様に深く感謝する。

文 献

- Bristol, H.M. and Howard, R.H. (1971): Paleogeologic map of the Sub-Pennsylvanian Chesterian (Upper Mississippian) surface in the Illinois Basin. *Illinois State Geol. Survey Circ.*, **458**, 14p.
- Bristol, H.M. and Howard, R.H. (1974): Sub-Pennsylvanian valleys in the Chesterian surface of the Illinois Basin and related Chesterian slump blocks. *Geol. Soc. Amer., Inc. Spec. Pap.*, **148**, 315-336.
- Cecil, C.B., Stanton, R.W., Neuzil, S.G., Ruppert, L.F. and Pierce, B.S. (1985): Paleoclimate controls on Late Paleozoic sedimentation and peat formation in the central Appalachian Basin. *Int. J. Coal Geol.*, **5**, 195-230.
- Coleman, J.M. and Prior, D.B. (1980): *Deltas and bodies*. AAPG, Education Course Note Series #15, 171p.
- Donaldson, A.C., Renton, J.J. and Presley, M.W. (1985): Pennsylvanian deposystem and paleoclimates of the Appalachians. *Int. J. Coal Geol.*, **5**, 167-193.
- Fairbridge, R.W. (1946): Submarine slumping and the location of oil bodies. In Potter, P.E. and Pettijohn, F.J. (1963): *Paleocurrent and basin analysis*. Springer-Verlag, 155.
- 深田地質研究所 (1995): 釧路市の地質図. 深田地質研究所報告, **6**, 103.
- Horne, J.C., Ferm, J.C., Crucio, F.T. and Baganz, B.P. (1978): Depositional models in coal exploration and mine planning in Appalachian region. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, **62**, 2379-2411.
- Intertec Mining and Construction Group (1996): *Keystone coal industry manual*. Intertec Publishing, USA, G1-234.
- Kuenen, Ph.H. (1956): The difference between sliding and turbidity current. In Potter, P.E. and Pettijohn, F.J. (1963): *Paleocurrent and basin analysis*. Springer-Verlag, 158.
- Lawrence, D.T. (1982): Influence of transgressive-regressive pulses on coal-bearing strata of the Upper Cretaceous Adaville Formation, southwestern Wyoming. *Proc. Fifth Symp. on the Geology of Rocky Mountain coal*. *Utah Geol. and Mineral Survey, Bull.*, **118**, 32-49.
- 村岡次郎 (1997a): 石炭資源探査技術の動向—新しい石炭地質学—. 地学雑誌, **106**, 1-9.
- 村岡次郎 (1997b): 分岐などの炭層の初成的堆積構造—新しい石炭地質学—. 地学雑誌, **106**, 307-319.
- NEDO (1994): *Interim report on first stage — General survey of the central Sarawak coal*

- exploration project. NEDO/GSM, 102 p.
- NEDO (1996): *Interim report on second stage—Semi-detailed exploration of the central Sarawak coal exploration project. NEDO/GSM*, 44 p.
- Potter, P.E. and Simon, J.A. (1961): Anvil rock sandstone and channel cutouts of Herrin Coal in west-central Illinois. *Illinois State Geol. Survey, Circ.*, **314**, 12 p.
- Raistrick, A. and Marshall, C.E. (1939): *The nature and origin of coal and coal seams*. The English Univ. Press, GB, 282 p.
- 坂倉勝彦 (1964): 石炭地質学. 技術書院, 218 p.
- 石炭技術研究所編 (1990): 産炭国における石炭資源探査技術の現状と今後の動向調査 (タイ) 報告書. 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託調査, 103 p.
- Shimoyama, T. (1984): Sulphur concentration in the Japanese Palaeogene coal. *Spec. Publ. Ass. Sediment.*, **7**, 361-372.
- Thomas, L. (1992): *Handbook of practical geology*. John Wiley and Sons, 338 p.
- Vaninetti, G. (1978): Coal exploration concepts and practices in the western United States. *Proc. of the 2nd International Coal Exploration Symposium*, 132-194.
- Weimer, R.J. (1976): Stratigraphy and tectonics of western coals. *Geology of Rocky Mountain Coal. Colo. Geol. Surv., Res. Ser.*, **1**, 9-27.
- 山内靖喜 (1977): 秩父盆地の中新統内の乱堆積構造. 地質学雑誌, **83**, 457-489.

(1997年1月20日受付, 1997年6月16日受理)