

石炭化度と埋没深度との関係について

藤井 敬三・佐々木 実・尾上 亨・曾我部 正敏・佐藤 良昭・鈴木 泰輔（燃料部）・後藤 進（技術部）

1. ま え が き

石油問題に端を発した世界的なエネルギー危機感によって 従来 ほとんど省みられなかった石炭がふたたび見直されるようになり 石炭を燃焼 乾留 ガス化 液化 酸化などの手段によりエネルギー源あるいは石炭化学原料源などとして 加工利用の技術開発が前向きに検討されている。

石炭の利用技術開発にあたっては 石炭のもつ基礎的な物理・化学的特性 性状を明らかにして 石炭のもつ諸特性を十分理解したうえで有効利用することが必要となってくる。それは 石炭が有機質の固体であり かつ無機質を含有するうに 石炭化度による差異 石炭組織による差異 産出炭田などによって種々性状が異なるからである。

したがって 石炭の利用技術開発にあたっては 対象となる原料石炭としてどのような種類の石炭を選定するかということが重要な課題となる。これまで 石炭の一般性状としては ごく通常には工業分析 元素分析および組織成分などにおける分析値や発熱量が問題となっていた。さらに それぞれの目的にしたがって 石炭中の無機物と関連して 石炭中の灰分含有量 灰分の組成 溶解性などが検討される。たとえばガス化に際しては粘結性 灰の溶解性が問題となり 石炭を乾溜あるいは液化する際には 粘結性 コークス性が問題となる。

そこで 石炭を分類する際に そのパラメーターとして工業分析 元素分析における炭素含有量 揮発分 発熱量 燃料比などが使われてきた。

一方 こうした実用面からみた石炭の性状を成因的にみると 石炭は 植物が堆積し 主として嫌気性の菌が作用した後 地中に埋没し 地圧と地熱による石炭化作用を長い間うけて生成したものと考えられ 褐炭 低度瀝青炭 瀝青炭 高度瀝青炭 半無煙炭 無煙炭と一連の石炭化度が進むことがわかっている。そして 前述した種々のパラメーターは 多くの場合 石炭化度との間にかかなりの相関関係があることがわかっている（木村・藤井 1970）。そこで 石炭は ごく一般的には石炭化度を基準にして種々検討されてきた。

しかし 最近では 炭質のパラメーターとして 石炭

組織の主成分の一つであるビトリニットの反射率および化石花粉の蛍光性（石炭地質研究グループ 1975；藤井ほか 1977）が用いられるようになってきた。この方法によると 従来のパラメーター決定法に比べ ごく微量（数グラムあればよい）の試料で ビトリニットの反射率 化石花粉の蛍光性の測定が可能であり 石炭化度のパラメーターとして より正確であるといわれている（Hood and CASTANO 1974）。しかも これらのパラメーターは ただ単に実用面からいって重要であるばかりでなく 石炭化作用の過程 石炭化度と地層の埋没深度との相関関係 古地温の推定 圧力の条件などの解明ができるという学問的にも大変興味ある問題を含んでいる。

最近の研究によれば 石炭化度は おもに石炭がうけた熱と圧力 とくに時間を加味した全熱量に関係して変化すると考えられている。もちろん この温度と圧力は 地下深部ほど高くなるわけで 炭化度は 地層の埋没深度に比例して変化しているという事実が数多く報告されている（Hood and CASTANO 1974；工藤 1975；SHIBAOKA and BENNETT 1975ほか）。

日本では 炭化度と埋没深度との関連性の研究 とくに化石花粉の蛍光性を利用した研究はほとんど行なわれていないが 日本の炭田地域のように 地質構造の変化がはげしく また 堆積盆の小さい所では 特に 炭質のタテへの変化 つまり深度に対する炭質の変化 つぎには炭質のヨコへの変化 つまり各炭層の水平方向への変化を知ることが重要である。

こうした意味で 石狩炭田夕張地区をとりあげ ビトリニットの反射率と化石花粉の蛍光性とを利用して 石炭化度の垂直 水平方向への変化 石炭化作用が進行した時期の推定などの研究を紹介するとともに 試料の作成および蛍光光度の測定方法などの技術的な面についても説明を加えたい。

2. 地 質 概 要

石狩炭田夕張地区は おもに白亜系からなる万字・鳩の巣ドームを境として 北側の三笠・幌内地域と南側の夕張地域とに分けられる。また夕張地域の西側には川

端層群の厚い堆積物からなる堆積ベースンがある。

試料採集をした地域は 第一に夕張地域で 同地域の堆積および地質構造の発達方向である北々西一南々東にほぼ平行する方向と それに対し直交する方向に試料採取をした。 つぎに石狩層群との炭化度を比較する意味で 川端層群の堆積ベースンの基底からも試料採取をした(第1図参照)。

3. 層序

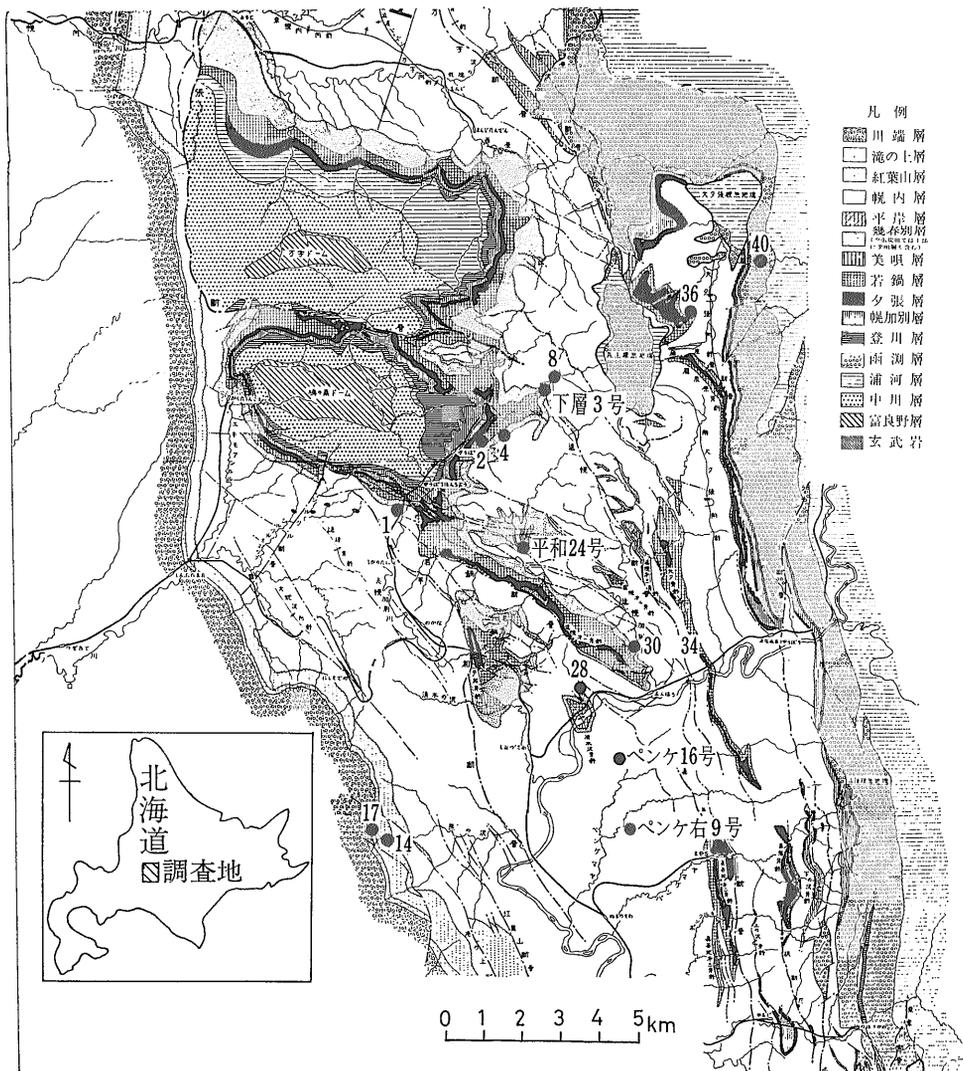
この地域の層序は 下位から 白亜系 古第三系の石狩層群 幌内層群および 新第三系の川端層群からなる(第2図参照)。

白 亜 系 夕張地区の基盤であり 下位から下部 中

部 上部蝦夷層群および函淵層群からなる。 蝦夷層群は海成層からなるが 函淵層群は海退期の堆積相を示し炭質頁岩をはさんでいる。

古 第 三 系 下位の石狩層群と上位の幌内層群とに分けられる。 石狩層群は 下位から登川層 幌加別層 夕張層 若鍋層および幾春別層からなり 若鍋層のみが海成相で 他の地層はすべてほとんど淡水成層である。 また 夾炭層は登川層 夕張層および幾春別層であるが夕張層が主要夾炭層となっている。

つぎに 幌内層群は 暗灰色の泥岩からなり 均質単調な岩相で 大型化石によってAからIまでの9帯に分帯されているが この地区では上部が削剝されているためAからG帯までが分布している。



第1図 石狩炭田夕張地区地質図(下河原 1963)および試料採集位置図

地層名	柱状	
川端層群	川端層	[Pattern]
	滝の上層	[Pattern]
幌内層群	紅葉山層	[Pattern]
	幌内層	[Pattern]
石狩層群	幾春別層	[Pattern]
	若鍋層	[Pattern]
	夕張層	[Pattern]
	幌加別層	[Pattern]
登川層	登川層	[Pattern]
	登川層	[Pattern]
函淵層群	函淵層	[Pattern]

第2図 石狩炭田夕張地区の地質柱状概念図(下河原)

新第三系 川端層群は 下位から紅葉山層 滝の上層および川端層からなる。紅葉山層は 一般に下部は砂岩 上部は泥岩を主とし 浅海成相を示す。滝の上層は 泥岩を主とし 含礫泥岩 スランプ構造などの異常堆積物やうすい石炭層をはさんでいる。川端層は 礫岩→砂岩→泥岩というフリッシュ堆積物からなり 乱泥流により運ばれ堆積したものである。

4. 地質構造発達史について

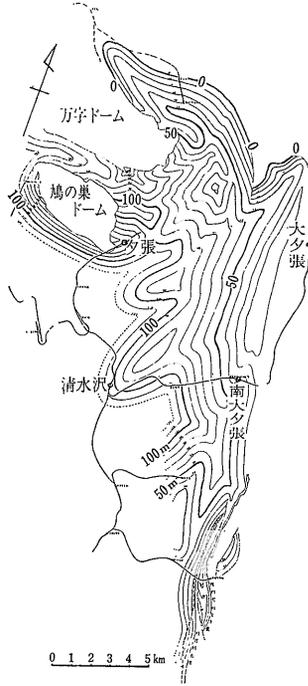
すでにのべたように 一般に 石炭化度は 地層の埋没深度と深い関係をもつので できるだけ等層厚線図をもとにして地質構造発達史をのべたい。

まず 古第三系の石狩層群の地質構造発達史については 下河原博士 (1963) による詳しい研究がある。

この研究によると 登川層堆積時期には 等層厚線は基本的には南北方向ののびており 地層は東から西にむかって厚くなるが 北東-南西方向の層厚のうすい部分があくつかみられる(第3図参照)。幌加別層堆積時期は ほかの時期に比べ 層厚変化は比較的少なく 南北方向か またはそれに近い方向とそれに直交もしくは高角度で斜交する方向とに小盆地の分化が認められる(第4図参照)。夕張層堆積時期には 前時期に発達した各小盆地はさらに細分化されている(第5図参照)。

若鍋層堆積時期になると 小盆地の分化がさらにすす

み その方向性が不明瞭となり 前時期に沈降の場であった所が 逆に隆起の場に転じている所が多い(第6図参照)。幾春別層堆積時期では 分化小盆地はほとんど消失し 登川層堆積時期とほぼ同様の南北方向の等層厚線図となっている(第7図参照)。



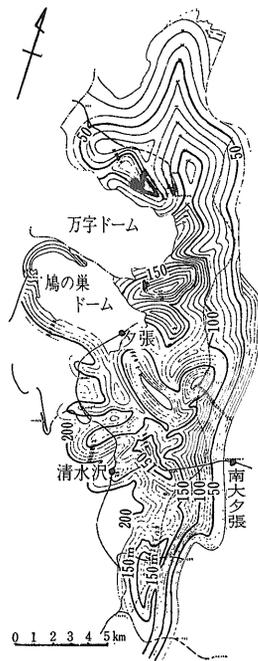
第3図 石狩炭田夕張地域登川層等層厚線図(下河原 1963)



第4図 石狩炭田夕張地域幌加別層等層厚線図(下河原 1963)



第5図 石狩炭田夕張地域夕張層等層厚線図(下河原 1963)



第6図 石狩炭田夕張地域若鍋層等層厚線図(下河原 1963)



第7図 石狩炭田夕張地域幾春別層等層厚線図(下河原 1963)

最後に 登川層から幾春別層までの各層厚を重ね合わせると(第8図参照) 全体として 北々西—南々東方向に長い堆積盆で 西端部から中央部にかけて 厚さは西から東へむかってゆるやかにうすくなるが 中央部から東へむかって急激にうすくなる。

ここで 試料を採集した位置を検討してみると 層厚変化の長軸方向(北々西—南々東)に平行するものとほぼ直交する方向になっていることがわかる。

幌内層群は 手島博士(1967)により詳しく調べられている。

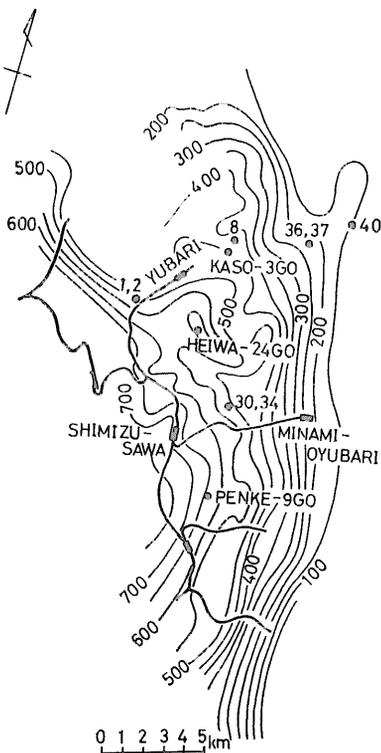
A帯堆積時期には 大局的にいって 西北西から東南東方向へむかって層厚はうすくなるが 等層厚線は北々西—南々東方向に細かくうねっている(第9図参照)。

B帯とC帯の堆積時期には 南北方向に等層厚線がはしり 西から東へむかって層厚はうすくなる(第10図参照)。この傾向はD帯堆積時期に継続されている。E帯とF帯の堆積時期には 層厚は西南西から東北東方向にむかってうすくなると同時に 北々西から南々東方向にむかってうすくなる(第11 12図参照)。つぎに幌内層群の上半部 GからI帯は削刺され 現在は露出していないが 周辺地域に露出している幌内層群の上半部の地質状況から本地区における幌内層の上半部の層厚を推

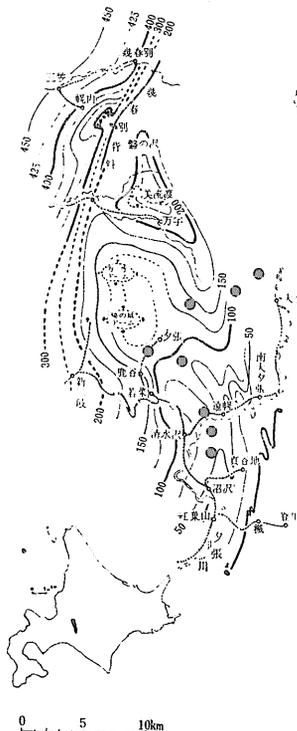
定し 幌内層群全層厚の発達状況を検討している(第13図参照)。この結果によると 夕張地区における幌内層群の全層厚は 南から北へむかって厚くなると同時に 東から西へむかって厚くなる。各試料採取位置における層厚変化を検討してみると 北々西—南々東方向では もっとも北の下層3号の位置の方がもっとも南のペンケ右9号の位置の方よりも約500m 厚く堆積している。また 北東—南西方向では 西端部のNo 1 2の位置の方が 東端部のNo 40の位置よりも約1,000m 厚く堆積している。

こうして堆積した幌内海は内湾性であり 夕張地区が幌内層群によって埋積された後 この地区は後幌内地変とよばれる変動により陸化し 削刺をうけ 川端層群堆積初期に新しい海進をうけた。

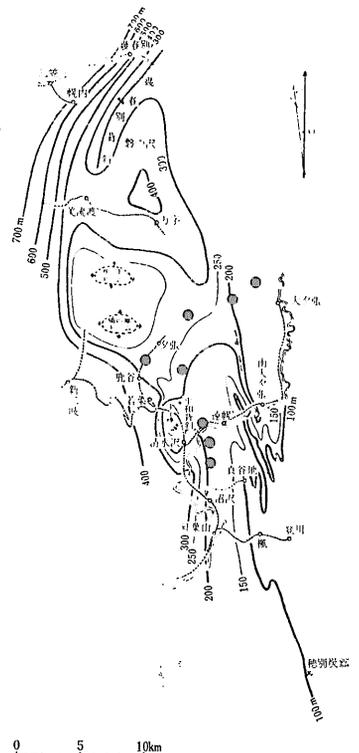
おそらく川端層群の主部である川端層は この地区をわずかに被覆したと思われるが 現在の川端層の堆積区域に断層的沈降帯が発達し(松野 1958:札幌支部 1960) 4,000mをこえる川端層が堆積したと思われる。第14図のように その堆積物の供給方向は沈降帯の長軸方向と一致する南々東から北々西にむかい 堆積盆の長軸方向にそう流れである軸流(axial current)と解釈されている(長浜 1967)。



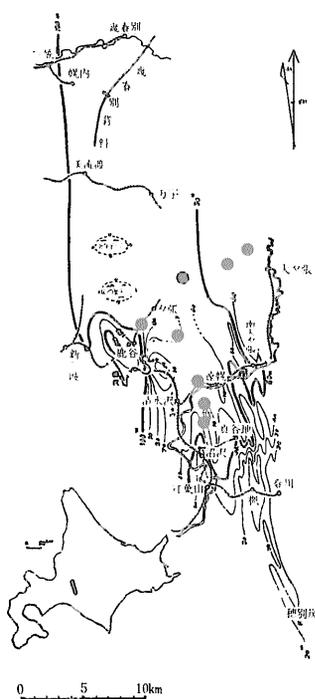
第8図 石狩炭田夕張地域の石狩層群等層厚線図



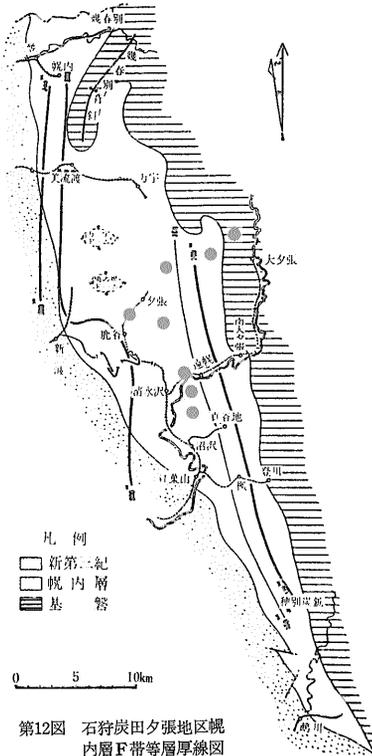
第9図 石狩炭田夕張地区幌内A層帯等層厚線図(手島 1967) (●)印試料採取位置)



第10図 石狩炭田夕張地区幌内層B+C帯等層厚線図(手島 1967)



第11図 石狩炭田夕張地区幌内層E帯等層厚線図 (手島 1967)



第12図 石狩炭田夕張地区幌内層F帯等層厚線図 (手島 1967)

さてここで重要なことは 前述したごとく 石炭化度は埋深深度に比例していると考えられることである。

したがって夕張地区における炭化度を考えるさいには古第三系の埋積状況が 堆積時から現在にいたるまでどのように変遷してきたかを検討しなくてはならない。

ふたたび 下河原博士 (1963) の研究にもどすと 古第三系の堆積が終了したのち 川端層群堆積直前の古第三系の埋積状況が 第15図のように推定されている。この結果から 北々西—南々東方向における層厚変化をみると ペンケ右9号の位置は 第15図中の断面5に相当し この位置付近が 古第三系がもっとも厚く堆積していた場所であることがわかる。そして この断面位置を中心として 北々西および南々東方向にむかってうすくなる。さらに この状況をわかりやすく図示したのが第17図であり 万字・鳩の巣ドームからペンケ右9号付近にいたる南北断面において 古第三系の堆積過程を模式的にえがいたものである。つぎに 北東—南西方向における層厚変化をみると この地区の北西部にある万字・鳩の巣ドームは 北方より連続する幾春別背斜系列または赤平—幾春別曲隆帯などによげれる隆起帯の

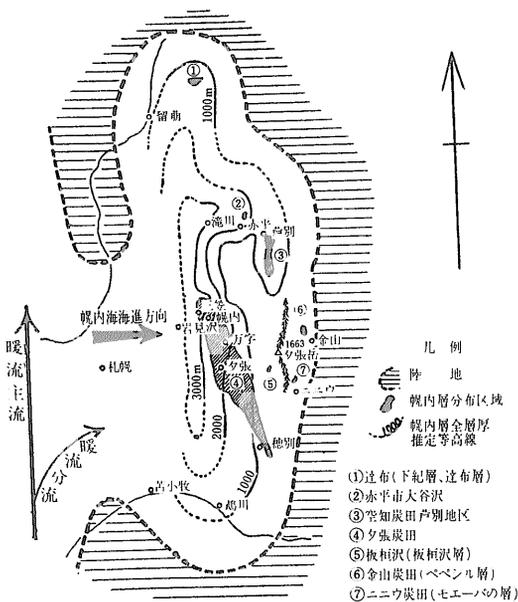
南延長部にあたっており (第15図の北東部参照 下河原 1962; 柴岡 1967) この隆起帯と東縁部の白亜系からなる地域との間に 一種の沈降盆を形成していたことがわかる。したがって 北東—南西方向の復元された古第三系の断面形態は第15図の断面Iと似た形態をとる。この隆起帯の胚芽 (曲隆帯) は石狩統堆積時から存在し 特に 幌内層群堆積後に顕著になったと推定されている (柴岡 1967)。

そして 第17図8に示されるような川端層群堆積初期の古第三系の埋積状況は 新第三紀鮮新世 (第16図参照) の中期頃の先滝川造山時階まであまり変らなかつたと思われ ついで先滝川造山運動によって 現在みられる複雑な地質構造が完成したと考えられる (下河原 1963)。

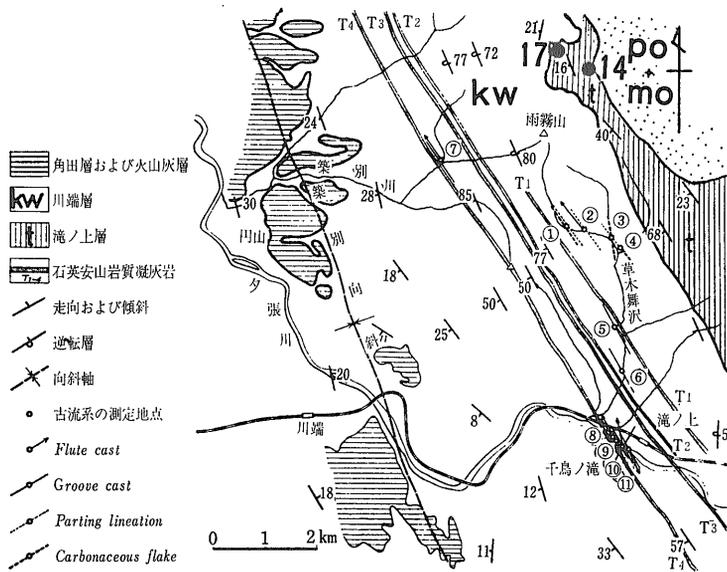
5. ビトリニットの試料作成および反射率の測定方法

5-1 試料作成方法

採取した試料を規定の粒度に粉砕乾燥し 透明樹脂と混合し円柱形の成型試料を作り この成型試料を平坦で無傷な表面に研磨する。



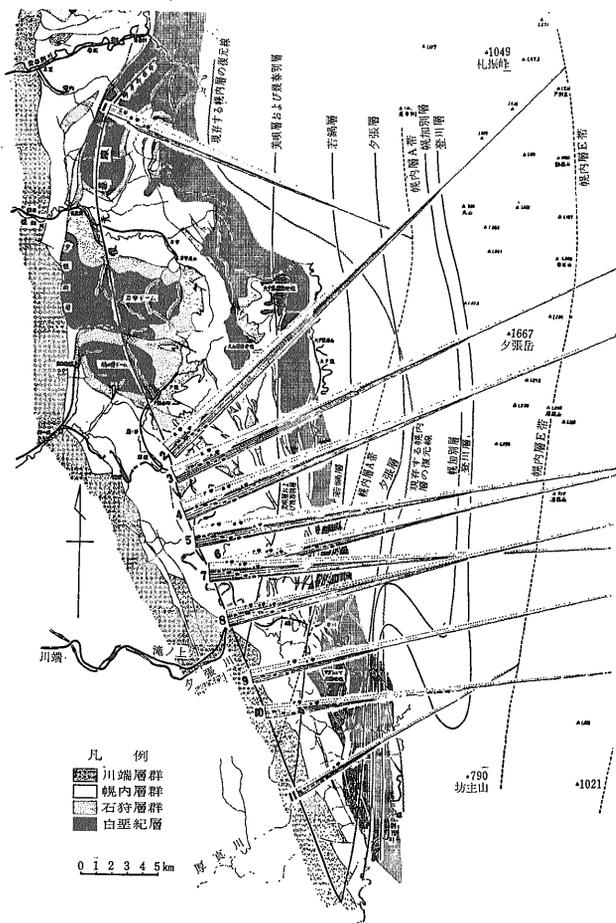
第13図 石狩炭田とその周辺地域における古幌内海および海進方向を示す図 (手島 1967)



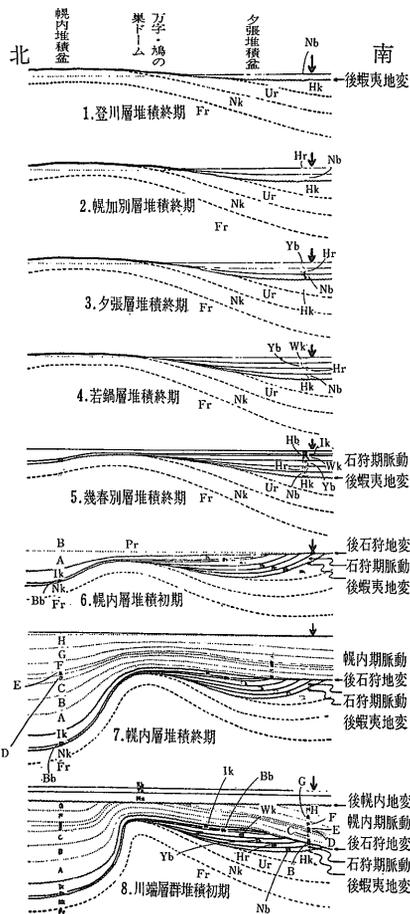
第14図 川端層(凝灰岩 T₁-T₄)の分布と堆積構造の観察測定地点と流向を示す図(長浜 1967)

時代	層序	
新第三紀	現世	美川層 Tk
	鮮新世	滝ノ上層 Mm
	中新世	川端層 kw
		内層層 Ph
古新世	戸別層 Ac	
	中川層 Uc	
	石狩層	幾春層 Wk
		夕張層 Yc
		若鍋層 Wk
		美唄層 Bc
		川端層 kw
		内層層 Ph

第16図 石狩炭田地域における層序(高尾 1952)



第15図 石狩炭田夕張地区の先幌内期 石狩層群および幌内期中・下部幌内層復元分布図(下河原 1963)



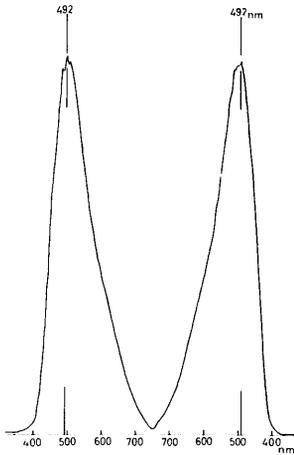
第17図 石狩炭田夕張地区古第三系堆積過程模式図(下河原 1963に一部加筆)(矢印はペンケ右9号の位置を示す)

Kb	川端層
Tk	滝ノ上層
Mm	紅葉山層
I	幌内層
H	
G	
F	
Pr	石狩層
E	
D	
C	
B	川端層
A	
Ik	幾春層
Bb	美唄層
Wk	若鍋層
Yb	夕張層
Hr	幌加別層
Nb	登川層
Hk	函川層
Ur	浦河層
Nk	中川層
Fr	富良野層

第2表 石狩炭田夕張地区の反射率(単位%)

地層名	函淵層群	登川層	幌加別層	夕張層	若鍋層	幾春別層	幌内層	滝の上層	
ペンケ右9号				1.1	0.9				南々東 ↓ 北々西
ペンケ16号				0.9	0.8				
清水沢						0.75*	0.6*		
平和16号			1.0		0.8				
下層3号			0.85	0.8	0.75		0.5		
夕張		0.7*		0.68*		0.67			南西 ↓ 北東
下層3号			0.85	0.8	0.75		0.5		
大夕張	0.8*			0.6*					
熊の沢								0.65	

* 露頭試料



第19図 夕張層産のマツ科の螢光光度測定結果 (nm はナノメータの略で10⁻⁷cmを示す。

短波長から長波長そしてくり返して短波長へと連続して強度を記録するので 第19図のように対称的な図形がえられる。ただし 化石花粉の種類により波形 波長が異なり また同一種の化石花粉でも 地質時代が古くなるにしたがって最高光度を示すときの波長の位長が長波長の方にずれるという傾向がある。

7. 測定結果について

まず ビトリニットの反射率の測定結果について検討してみることにする(第20図参照)。夕張地区の北々西—南々東方向での反射率の変化については 第2表の上段に示してあるように 最南端のペンケ右9号から最北端の下層3号にいたる試料についての測定結果をみると

- 1 同一地点では 下位の地層ほど反射率が高くなる。
- 2 同一の層準を比べた場合 北々西方向にむかって反射率が低くなっている。

つぎに 北東—南西方向での反射率の変化については 第2表下段のごとく 同一地点での変化は前の場合と同じことがいえるが 同一層準を比べた場合中央部において反射率が高く 北東および南西端において反射率が低くなっている。特に興味ある事実は 白亜系の函淵層群中の石炭のビトリニットの反射率が低く 若鍋層中のものと同じ程度の反射率しか示さないことである。

ついで 化石花粉の螢光光度測定は ペンケ右9号と下層3号についてのみなされた(第20図に点線で表示)。ペンケ右9号の試料では松科の化石花粉がほかの花粉よりも各層によく保存されていたので松科について また下層3号では 杉科の化石花粉について測定した。

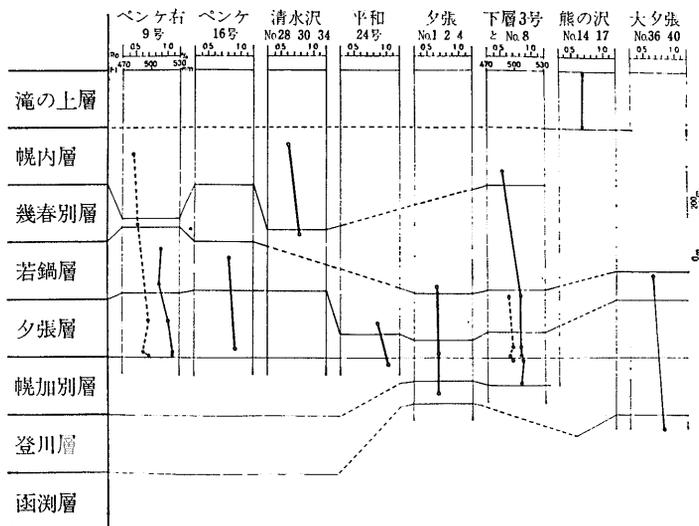
この結果は;

- 1 下位の地層ほど 螢光光度の最高値を示す時の波長が長波長の方にずれる。
- 2 1の変化の傾向は ビトリニットの変化の傾向とよく一致している。

8. 石炭作用と埋没深度との関係について

以上の測定結果を通じて 夕張地区における石炭化作用について考えてみよう。

一般的にいって ビトリニットの反射率や化石花粉の最高光度を示す時の波長が埋没深度とともに増し 炭化度と比例するといわれている(工藤 1975; SHIBAOKA and BENNETT 1976)。この考えに従うと 調査地域の範囲内における古第三系の炭化度は 北々西—南々東方向では 南々東方向にむかって埋没深度がますますことが考えられる



第20図 反射率および螢光光度の測定結果【実線は反射率 (Ro) 点線は螢光光度 (FI) を示す】

が 古第三系堆積後の後幌内地変により 石狩層群・幌内層群の埋没深度が北々西から南々東にむかって深くなる事実とよく一致する。また 北東—南西方向では中央部が深度をます“なべ底型”の堆積ベースが予想され 地質構造発達史から推定されるように 後幌内地変後の石狩層群・幌内層群の埋没深度の状況とよく一致する。

こうしてみると 反射率の変化から予想される結果と地質構造発達史とを合せ考えると 後幌内地変後から先滝川造山時階 つまり 古第三紀末ないし中新世初期から鮮新世中期頃まで続いた古第三系の堆積状況が反射率の変化から予想される埋没深度の結果とよく一致する。

したがって 先の仮定が正しいとすると 石炭化作用は 主として 古第三紀末ないし中新世初期から鮮新世中期にわたる期間に進行したことが予想される。

つぎに 川端層群堆積ベース中のビトリニットの反射率の測定結果を検討してみると 滝の上層中の石炭のビトリニットの反射率は 0.65 (第20図の熊の沢 No 14 17参照) で 夕張地区の幌内層群よりも高い反射率を示す。このことは 滝の上層の上位に重なる川端層の層厚が数1,000mにも達することから 滝の上層中の石炭が炭化作用を受けた期間は古第三系の石炭に比べると短期間ではあるが より深い所で つまり比較的高い温度の地質環境のもとで石炭化が進行したことを示すものではないだろうか。しかしながら データが少ないので将来の問題としておきたい。

9. 化石花粉の蛍光光度に関する今後の問題点

化石花粉の蛍光光度に関する研究についてふれるとこの種の研究はまだ日本においてほとんど行なわれていないのが現状である。今回の調査は 学問的に有効な手段となるかどうかをチェックするために行なわれたものであることをお断わりしておく。ともかく 今回の調査で 化石花粉の最高蛍光光度を示す波長の変化とビトリニットの反射率の変化とが比例関係にあると考えられることから たとえ 堆積岩中に石炭が含まれていなくても化石花粉があれば石炭化度を知ることができる。

最後に 化石花粉の蛍光光度を研究する際の問題点をのべておこう。

まず 蛍光を発する花粉の表層の一部であるカロースが 酸に侵されやすいため 濃硝酸 沸化水素などを使用できないため 花粉を濃集することができない。したがって花粉分離法について大いに検討する必要がある。

つぎに 化石の種類によって 蛍光光度が異なるので同一の種族間でないと比較できないという難点がある。また 花粉の分離量が少ないので 同一の種を下部から上部まで連続して測定することが難しい。そこで 種に関係なく 最高の蛍光光度時の波長を統計的に扱う方法も考慮する必要がある。

また 最高蛍光光度を示す時の波長以外に新しいパラメーターを考える必要がある (TING and LO 1975)。

なお 本調査研究にあたり 種々 ご協力を賜った北海道炭鉱汽船株式会社 地質調査所長 本多仁麿氏 同地質課長 岩堀正二郎氏に謝意を申し上げる。なお 蛍光光度の測定に関して ご指導ならびに有益なご意見を賜った 日本肥糧株式会社の徳永重元博士 大嶋秀明氏 伊藤良永氏には厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 藤井敬三・佐々木実・尾上 亨・佐藤良昭・曾我部正敏・後藤進 (1977) : 石炭資源有効利用に伴う炭質の研究の必要性について。地質ニュース 275号 p. 1—9。
- GUZEL, P. V. (1967) : Autofluorescence of fossil pollen and spores with special reference to age determination and coalification. *Leides Geol. Med.*, Vol. 39, p. 263—317.
- HOOD, A. and CASTANO, J. R. (1974) : Organic metamorphisms, its relation to petroleum generation and application to studies of authigenic minerals. *CCOP Technical Bulletin*, Vol. 8, p. 85—118.
- 木村英雄・藤井修治 (1976) : 石炭化学と工業。三共出版 p. 546。
- 工藤修治 (1975) : 石油および天然ガス探査への石炭組織学的方法の応用。TRC news, no. 13, p. 2—7。
- 松野久也 (1958) : 古丹別層の堆積盆の沈降運動。石油技協誌 第23巻 p. 19—21。
- 長浜春夫 (1967) : 川端層の古流向。地調月報 第18巻 p. 267—272。
- 札幌支部 (1960) : 北海道地域の新第三紀構造発達史。地球科学 第52号 p. 30—36。
- 柴岡道夫 (1967) : 石狩炭田における地質構造の発展過程について。佐々保雄教授還暦記念論文集 p. 453—475。
- SHIBAOKA, M. and BENNETT, A. J. R. (1976) : Effect of depth of burial and tectonic activity on coalification. *Nature*, Vol. 259, p. 385—386。
- 下河原寿男 (1963) : 夕張炭田の形成とその地質構造の発展。石炭地質研究 第5集 北海道炭鉱技術会 p. 244。
- 高尾彰平 (1952) : 石狩炭田 (特に夕張炭田) に於ける幌内層の層序と地質構造に関する研究。石炭地質研究 第2集 北海道炭鉱技術会 p. 216。
- 手島 淳 (1967) : 幌内海進—幌内層の研究 その5—。佐々保雄教授還暦記念論文集 p. 495—505。
- TING, F. T. C. and LO, H. B. (1975) : Fluorescence characteristic of thermo-altered exinites (sporinites). *Fuel*, Vol. 54, p. 201—204。
- 徳永重元 (1972) : 花粉分析法入門。ラティス p. 184。