

北部九州第三紀炭田の続成・埋没被熱の石炭化度調査による解析

相原, 安津夫
九州大学理学部

立石, 勝
国際協力事業団

前田, 純二
三井石油開発(株)

古賀, 義人
同和鉱業(株)

他

<https://doi.org/10.15017/4495633>

出版情報：九州大学理学部研究報告．地質学．15 (1), pp.103-118, 1987-03-15. 九州大学理学部
バージョン：
権利関係：



北部九州第三紀炭田の続成・埋没被熱の石炭化度調査による解析

相原安津夫・立石 勝⁽¹⁾・前田純二⁽²⁾・古賀義人⁽⁸⁾
吉村辰朗⁽⁴⁾・笠山浩昭⁽⁵⁾・鮎沢 潤⁽⁶⁾・鶴田勝也⁽⁷⁾
山田琢哉・森 昭宏⁽⁸⁾

Diagenetic and burial thermal alterations of the Tertiary System
analyzed by coalification study in North Kyushu, Japan.

Atsuo AIHARA, Masaru TATEISHI, Junji MAEDA, Yoshito KOGA,
Tatsuro YOSHIMURA, Hiroaki KASAYAMA, Jun AIZAWA Katsuya
TSURUTA, Takuya YAMADA, and Akihiro MORI

Abstract

The reflectance of vitrinite (Ro) is adopted as a parameter to envisage the thermal effect and its geological causes in the studied area.

The results have revealed the following facts: records of changing burial depth of the sediments in tilting coal basins are delineated from the regional and stratigraphic variation patterns of Ro; diagenetic reaction in the coalfields had to undergo warmer geothermal condition judging from Ro-depth gradient in boreholes; cause of the warmer geothermal condition is inferred as a result of vigorous igneous activities in the inner zone of the Southwest Japan arc since Miocene Epoch, which is analogically supported by the present high heat flow evidence and various types and bodies of igneous rock with anomalously high Ro values especially in the western part; and the Sasagawa reverse fault can be considered as a result of uplifting movement of a hypabyssal igneous body that accompanies high anomalous Ro haloes above it.

These characteristic thermal features are inferred as a manifestation of higher temperature and/or lower pressure organic metamorphism which occurred at the innermost back-arc basins behind the volcanic front of the Southwest Japan arc. The pattern is in striking contrast to that of the fore-arc depressions in the Northeast Japan arc which face the Pacific plate of present low heat flow condition. The former is considered as a typical thermal phenomenon of one of the paired organic metamorphism of the Cenozoic Group in the Japanese Islands.

I. ま え が き

夾炭第三系の分布する九州北部諸炭田は、古くから石炭を産出したこともあり、層位学的・古生物学的な研究が進み、加えて炭質の調査も行われていた。それ

(1)国際協力事業団, (2)三井石油開発㈱, (3)同和鉱業㈱, (4)復建調査設計㈱, (5)長崎県, (6)福岡大学理学部, (7)長崎南高校, (8)奈良大学文学部,
昭和61年8月4日受理

らのなかで、石炭の性質を大きく規定する石炭化度の研究については、幾つかの報告が公表されてはいるが、その研究対象が主要稼行炭層のみであったり、範囲が限られたり、さらには、炭質区分の指標に厳密さが欠けていたなどのため、変化の事実は明らかにしてはいたが、その原因についての十分な地質的解釈がなされていなかった嫌いがある。九州内帯諸炭田の地質を総括した松下 (1960) は、顕著な石炭化度変化の原因の地質的解釈の必要性を指摘し、自らも考察を加えている。

石炭化度問題については、石炭地質学の研究を手掛けた者ならば誰もが扱ったであろうと、STACH が英語版「石炭岩石学」(STACH et al., 1981) の序文で述べているように、この分野での常に新しく、かつ、未解決の重要な課題であり続けてきた。そのため、石炭化度を判定する各種の指標が多くの研究者により提示されてきた。しかし、その指標で実験室の特定の試料がどれほど細かく調査できても、野外で得られた多数の試料を同等に処理して、野外地質調査結果と対応させて地質現象の解析に利用できなければ、地質的には高い評価は与えられないであろう。筆者らのうち相原は、石炭顕微鏡的手法による vitrinite の反射率が室内研究と野外調査との両面で有効に活用できる指標であると認め、それが石炭層のみでなく、非夾炭堆積物中の分散型固体有機物を扱うことにより対象が広げられることや、石炭化反応を進めた古地熱の記録を解説できる資料を得る手段にもなること、などの利点を活かして研究を進めてきた。その経過で、石狩炭田全体の石炭化度変化の形態を描きだし(相原, 1977; 相原ら, 1980 a), また、それを含む日高前縁沈降帯の有機変成状況を総括し、その地質的意味の考察を行うことができた(AIHARA, 1978; 相原, 1979)。

九州内帯諸炭田についても同様な手法を用いて研究を並行させ、既に予察的な報告(相原, 1980 b)を行い、石狩炭田などとの比較・考察を行った(AIHARA, 1980 a, b), その後、九州大学理学部地質学教室の卒業論文や修士論文の研究を通して、地域ごとに調査・検討を重ねて、既概査範囲(相原, 1980 b)の大半を再調査することができた。その結果、一層詳細な石炭化度の変化状況を描き出せうえ、従来不明であった諸問題を、より具体的に考察できる段階にまで達することができた。

この研究は続行中であるが、当教室における石炭顕微鏡の導入と、これによる教育・研究の道を拓かれた高橋良平先生の御退官を機会に、現在までの成果を総括し小論とし、謝意を込めて献呈申し上げる。本論は多年の卒業研究を通して得られた成果をも含んでおり、それぞれの研究過程で、当時の多くの教官に多方面での御指導を賜っており、合わせて感謝申し上げます。また、工業技術院地質調査所故高井保明博士には九州出張所保管の佐世保炭田試錐の、また同所井上英二博士には同所保管の下小高島試錐の、それぞれのコアから石炭化植物片の採取の便宜を戴いたうえ、多くの地質情報を受けており、ここに謝意を表したい。なお、本論をまとめる段階で文部省科学研究費補助金(課題

番号60470051, 研究代表者・相原安津夫)の一部をあてることができた。ここに記して当局に感謝したい。

II. 石炭化度とその指標

石炭の原物質(主に泥炭)が埋没された後に続成的に、褐炭、亜瀝青炭へと変化し、さらに瀝青炭を経て無煙炭へと炭質を変える一連の地質的变化が石炭化作用である。その進行の程度が石炭化度で、それぞれの段階における石炭の物理的・化学的性質の変化でもってその進行状況を知ることができる。石炭が燃料として古くから利用されていた当時の習慣もあり、燃焼や加熱過程で現れる石炭の性質の変化に関する情報、例えば工業分析の発熱量や揮発分の変化を基にした炭質区分値が古くから石炭化度の指標に用いられることが多かった。

石炭は、もともと物理的・化学的な性質に差異があり顕微鏡的に識別できる植物部位の違う macerals の複雑な集合体である。従って、そのまま分析や試験を行ったのでは、同一石炭化度でも石炭組織の組合せの差で分析・測定値が変動するので、石炭化度の指標としての精度が低下する。碎屑性堆積岩の続成的変化の調査が、その中の自生鉱物の組合せや変化といった鉱物の単位で行われるのと同様に、石炭化作用に伴う石炭の変化も、特定 maceral の単位で調査・分析するか、または、石炭顕微鏡的手法で maceral を判定した鏡下で、同時にその物理的・化学的性質を測定・分析できる手法を用いることが好ましい。

石炭顕微鏡的手法による石炭化度の判定は以上のように合理的ではあるが、その実行には次のような留意すべき事柄がある。埋没後あまり変化していない低石炭化度炭では、植物の組織が残りがちで、普通光・偏光を用いた光学的性質のみでは続成的変化を探りにくい。この段階では、特定の liptinite, 特に花粉由来の sporinite 中に残る螢光物質の続成的変化に着目し、水銀燈を落射し励起して発生する反射螢光をスペクトル分析して変化を追う方法が用いられる。螢光は続成的変化の進行に従い長波長側に変色し、やがて消失する。螢光物質の消失によりスペクトル分析が行えなくなる前から、材由来の vitrinite のうち無組織の telocollinite の油浸反射率(以下 R_o と略す)が次第に上昇し、埋没変成領域に達する範囲までも連続的に変化する。本論では中～高石炭化度領域を主に扱うので、 R_o を石炭化度の指標に採用する。

石炭科学の研究で石炭顕微鏡的手法を用いるのが常識化した今日では、石炭の分析・試験には試料の組織

分析か maceral 分析を行うのが必須であるし、特定 maceral (濃集体) の分析・試験さえ行えるようになった。第1図に日本炭 vitrinite の元素分析、工業分析結果 (杉村ら, 1966) と Ro の関係を示し、かつ、従来の調査資料や文献資料も加え、石炭や石炭化植物片を含む地層中の自生・変成鉱物による分帯と対応させた。第1図から、碎屑性堆積物の続成や埋没変成的変化の進行状況は、それに含まれる石炭化植物片の

Ro を測定すれば、鉱物相による分帯よりも細分できるであろうことが、容易に理解できる。

石炭化作用に伴う化学的変化におけるC%の増加は、主に芳香族環の重・縮合反応の進行により起きるが、主要構成元素の C, H, O のうち、最も原子量の多い C の増加が Ro の上昇に現れると見てよい。このような続成的変化によるCの増加以外に、石炭化以前に野火などで材が木炭化すると、Cが著しく増すので、

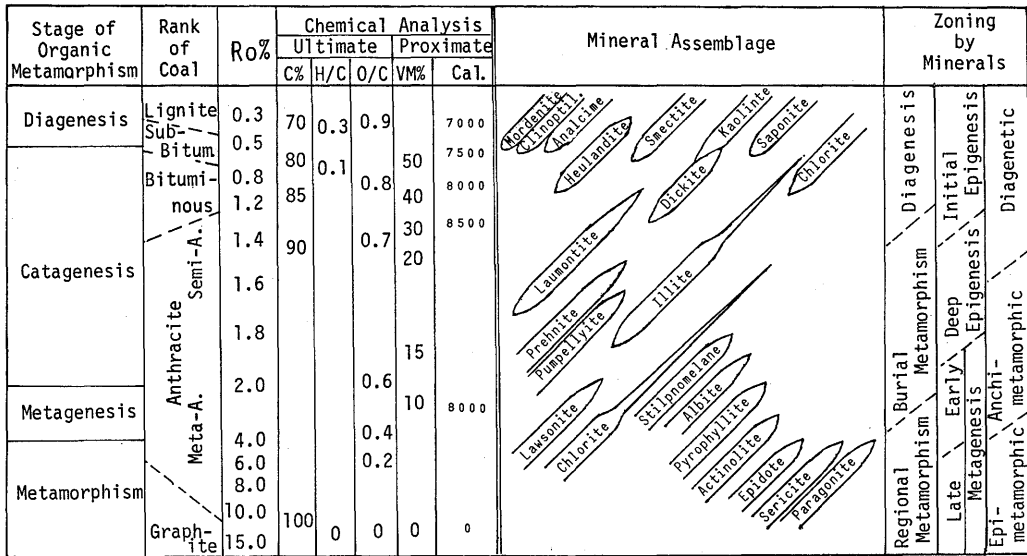


Fig. 1. Relationship between Ro, coal rank parameters, stage of organic metamorphism and mineral zoning.

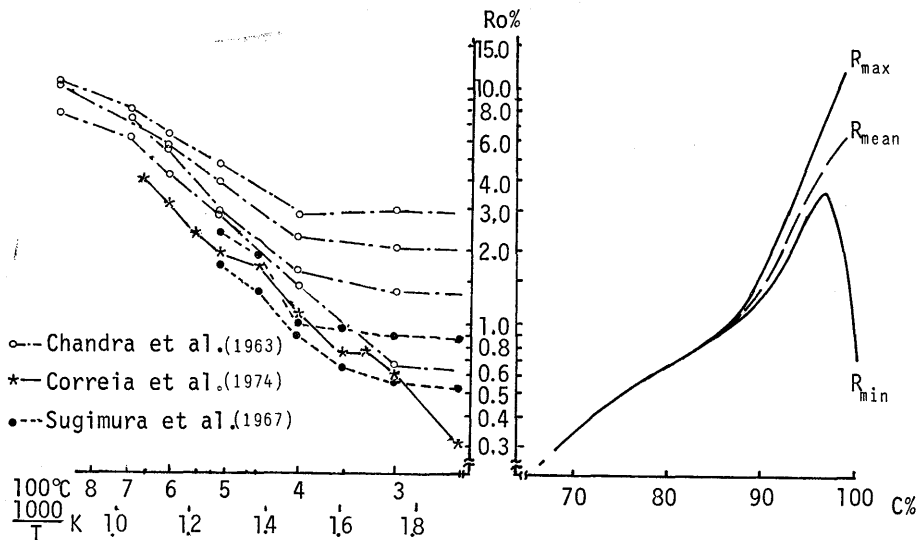


Fig. 2. Relationship between Ro and C% with its thermal change.

fusinite は高い反射率を示すが、特異な組織のため判別できる。各種石炭化度の vitrinite の C% と Ro との関係、および各種石炭化度の vitrinite や、原物質の材の人工加熱による Ro の変化調査結果を総括して示すと第 2 図のようになる。第 2 図から、地質的時間尺度に比べれば極めて短時間の実験室的昇温でも C% が増加し Ro も上昇し、それが非可逆的・累進的であることなどが読取れる。従って、石炭化度変化を Ro で調査すれば、その石炭化反応を進行させた被熱経過を探ることが示唆される。石炭層の石炭化度調査は地下資源としての石炭の質的評価に重要であるのみならず、非夾炭砕屑層中の分散型石炭化植物片を対象に Ro を測定することにより、その堆積物が続成～埋没変成中に経験した被熱履歴の調査にも展開できる。

III. 調査地域の地質概説

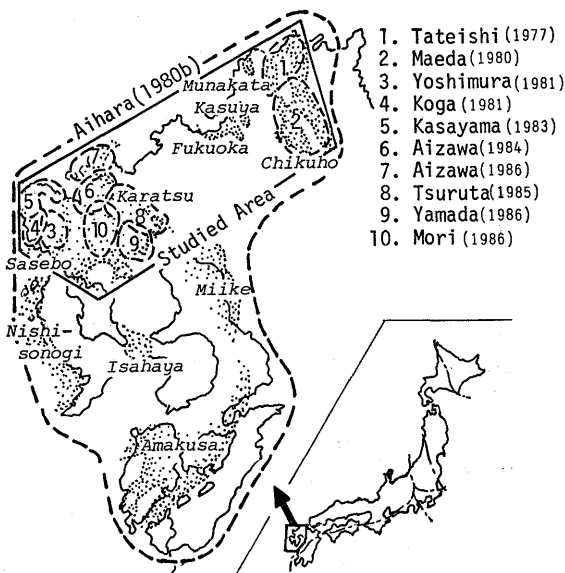
本論で扱う地域は既予察範囲(相原, 1980b)と重複するが、それぞれの分担調査範囲を合わせて示すと第 3 図のようになる。

範囲を含む北西九州諸炭田の層序・古生物学的ならびに堆積学的研究は、古くは、鈴木(1893, 1894, 1895)、長尾(1926-27)、矢部(1926)、上治(1935, 1938)、に始まり、松下(1949, 1960, 1971)を始め、野田・山崎(1950)、竹原(1952, 1956)、山崎・森永(1954)、木原(1955, 1956)、水野(1962)、井上(1958,

1965)古川(1970, 1974)など多数の研究者が手掛けた。また、石炭資源の開発に関連した諸炭田や炭鉱に関する鉱山地質学的記載・報告も多く、また、それ以上の未公表の資料が埋もれている。さらに、微化石による非夾炭海成層の時代細分や対比も近年検討されている。それらを整理し、炭田・地域別に代表的層序・層厚・岩相の概要を加え対比して示すと第 4 図のようになる。

地質構造は、前記調査と併行して調べられたほか、特に松下(1951, 1966, 1967)や山崎(1959)、山崎ら(1971)、高橋ら(1971)などにより包括的に扱われている。それら多くの資料を整理し、新たに第三系下底の不整合面の等深線とその構造と主要断層系統を図示すると第 5 図のようになる。この図から解るように、背振山地の東西で構造様式がやや異なる。東側は松下(1960)の筑豊型で代表される北北西-南南東に延びて主に東に緩斜する同斜構造をなし、東縁には、いわゆる基盤断層とこれに局部的向斜構造を伴うことがある。その西に接する宗像、粕屋、福岡の諸炭田では西や北西にも緩斜することもあり、いずれも浅い盆状・半地溝状構造をなしている。背振山地南西の唐津・佐世保両炭田は全体として西ないし北西に極めて緩く傾くが、東半の唐津炭田では時に傾斜の乱れを伴うドーム・ベースン構造が見られる。また、いわゆる仮屋-牛津構造線方向の北西-南東と、いわゆる松山-伊万里構造線の東西との二方向の断層が、それぞれ落差は小さいが、数多くみられ、全体としてモザイク状構造をなしている。さらに、西側で上位の唐津炭田では、走向北東-南西の佐々川断層とこれに伴う小断層が目立つ。

火成岩類は、基盤をなす花崗岩のほか、新生界に貫入・進入し、またこれを被覆する各種火山岩(一部深成岩)類がみられる。基盤の花崗岩類は唐木田(1952, 1985)が総括しており、調査地域内では特に背振山地とその東方にかけ主に分布する。新生代の火成岩類は、山崎(1959)、松本(1960)、松本・山崎(1960)などにより調査され、近年では、火山層序や絶対年代測定などにより、活動様式が一層詳細になりつつある。当地域の石炭層中には、しばしば“ごま”と称される凝灰質の薄層を挟むことがあり、相知層中に火砕流堆積物が報告(宮地, 1981)されているほか、佐世保層群中には“骨石”と呼ばれる凝灰岩薄層を挟むことが古くから知られている。これらは、夾炭層堆積時に既に周辺で先駆的火成活動があったことを示している。筑豊炭田南部では、石炭層中に火成岩が選択的に進入



1. Tateishi (1977)
2. Maeda (1980)
3. Yoshimura (1981)
4. Koga (1981)
5. Kasayama (1983)
6. Aizawa (1984)
7. Aizawa (1986)
8. Tsuruta (1985)
9. Yamada (1986)
10. Mori (1986)

Fig. 3. Location map of the studied area.

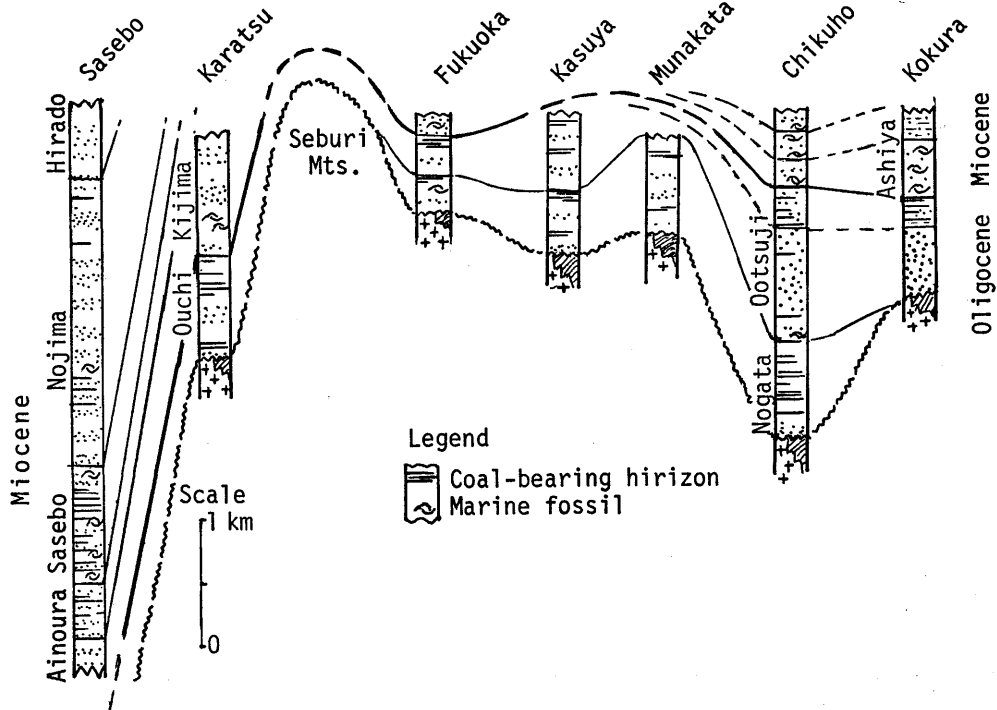


Fig. 4. Summarized correlation of stratigraphy and thickness change of the object coalfields.

し石炭をコークス化させている。唐津炭田では、餅盤や岩床状に火成岩が進入し地層を持ち上げたドーム状構造が地表で観察されることがある。

石炭化度とその変化に関する調査・研究は主に主要炭鉱の稼行炭層の炭質について行われており、全般的に瀝青炭が多く、部分的に亜瀝青炭や無煙炭の産出が知られていた。特異な炭質については上治 (1927), UJI (1936) は筑豊炭田の火成岩の進入による熱変成炭を顕微鏡的に調査し、浅野 (1958, 1959) はこの熱変成炭の工業分析値を基にして変成温度を推定した。佐世保炭田の炭質変化を燃料比 (固定炭素/揮発分) で調査した上治 (1935) は、佐々川断層付近でのその上昇は断層形成の圧力に原因があると、さらに広く内帯の各炭田の炭質変化を総括した松下 (1960), は西方に石炭化度が高まることを認めて、その原因は内帯南西部の地質構造を複雑にさせた構造運動にあるとした (松下, 1971)。TAKAHASHI (1958, 1959), 橋高 (1959 a, b, 1960) は、九州北部諸炭田の石炭化反応は原物質堆積から埋没の初期に方向付けられ、その後の構造形成過程で進行したため、日本炭特有の高揮

発分の特性が備わったとした。岩橋 (1963) は佐世保炭田主要炭層の輝炭部の元素分析のC%を指標にとり、その深度・地域変化を描き出し、佐々川断層は既に決まった石炭化度の地域的変化を切断・移動させており、圧力による石炭化作用の進行はあり得ぬとし、その石炭層上の被覆岩層厚が規制要因であると考えた。

IV. 石炭化度変化の諸形態

A. 調査方法

石炭化度変化調査の従来の難点を除くための基本的調査計画を立てる前に、石炭化度変化の共通的問題を見直すことにする。

一般に夾炭堆積盆で、同一時面 (例えば石炭層) が同一静水圧条件の同一深度に埋没され、均一な地熱環境で同じ被熱履歴が備わるような条件が整っていたとすると、早期に堆積した下位層ほど深く埋没し、より長く被熱し、それだけ石炭化反応も進行する。しかし、実際には層準と埋没深度とは必ずしも一致しない

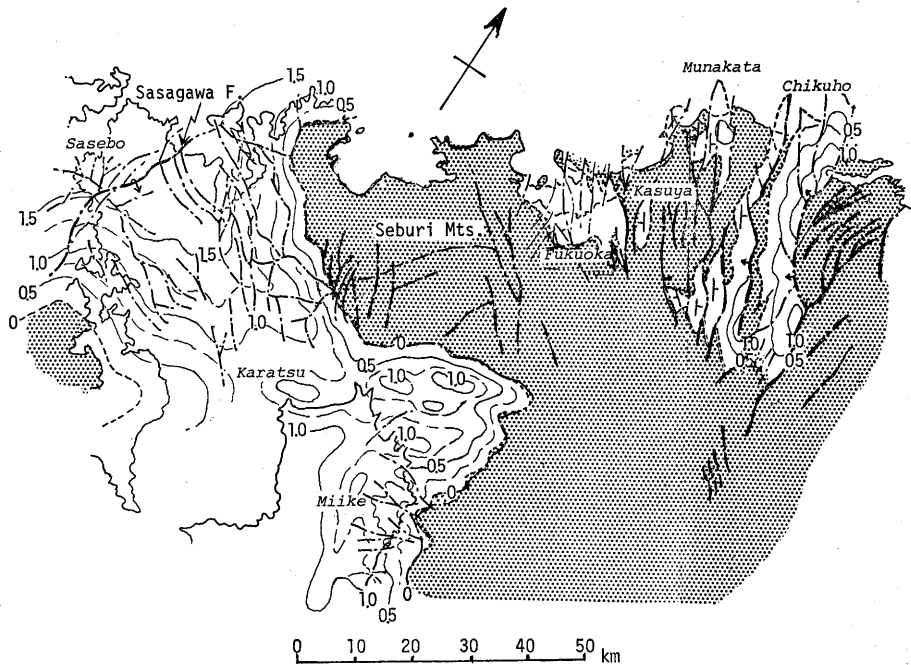


Fig. 5. Structure map of basement of the Tertiary System in north Kyushu (contour number indicates depth below sea level in km).

し、現在の地殻熱流量の地域的な変化から推定できるように、地質時代にも全く均一な地熱環境が存在したとは考え難い。すなわち、堆積盆発展の経過で、沈降・被熱・隆起などの程度が異なれば、同一時面でも R_o に変化が生ずるのであろう。時面が異なれば、変化は一層複雑になるに違いない。火成岩の貫入による局部的・付加的被熱があれば、変化はさらに修飾され得る。従って、現在地表で見られる R_o の変化は、それら多くの地質情報が複合した結果であると見るべきである。

急傾斜層の場合には、地表で傾斜方向の路線の地層の層位差の変化の中には、堆積盆地の一点上で起きた各種変化の時間的経過を讀取れることが多い。急傾斜部の多い石狩炭田では傾斜方向に採取した試料で R_o の変化を調査・解析できたが、当調査地域のように緩傾斜部が多く地形もなだらかな場合は不都合である。地表試料で層位差を大きく捉えようとする、平面的位置が著しく離れてしまう。そのため、堆積盆地の一点上の時間的経過以外の、多くの地質要因を取込む余地が増すことになる。この場合、垂直試錐は、その地点での時間的経過を留める極めて有効な情報源になる。

以上のように、当調査地域の野外試料採取条件は必

ずしも良好ではないので、全体的変化を描き出すためには次のような具体的方策を立てた。まず、地表の広域で R_o 測定値を増し、その変化を描き出す。次に、その変化の中から、限定範囲内での R_o の層位的変化と限定層準の R_o の走向方向の変化を抽出する。さらに、貫入岩による被熱が明確な変化を識別する。これら平面的変化の解析と合わせ、試錐の深度による R_o の変化の中から時間的・空間的変化要因を探ることを加える。このようにして得られた変化形態を、地質的变化の反映として解析し考察することにした。

本調査で用いた R_o 測定個数は総計1200以上になった。 R_o 測定のための試料の調整・測定法などは、既報(相原1980b)に触れてあるし、JIS(1986)、A. S. T. M. (1972) および I. C. C. C. P. Handbook (1963, 1971) に詳しいので、本論では省略する。

B. 現在地表での広域変化

層位的・地域的な変化を含めて、現在の地表の R_o 値の広域での全体的変化を等 R_o 値線図で表すと第6図のようになる。局部的には多くの変化要因の影響を受け複雑な変化形態をなすが、大局的には、松下(1960)が指摘した西での高い石炭化度出現の傾向は確認でき

た。しかし、西方の唐津・佐世保両炭田では変化状況が東方とは異なり、高異常帯が佐々川断層付近とその北東延長部や唐津炭田側に点在しており、その原因が

単純でないことを示唆している。この全体的変化の中から、部分を限って特定の変化要因だけの影響を見出さねばならない。

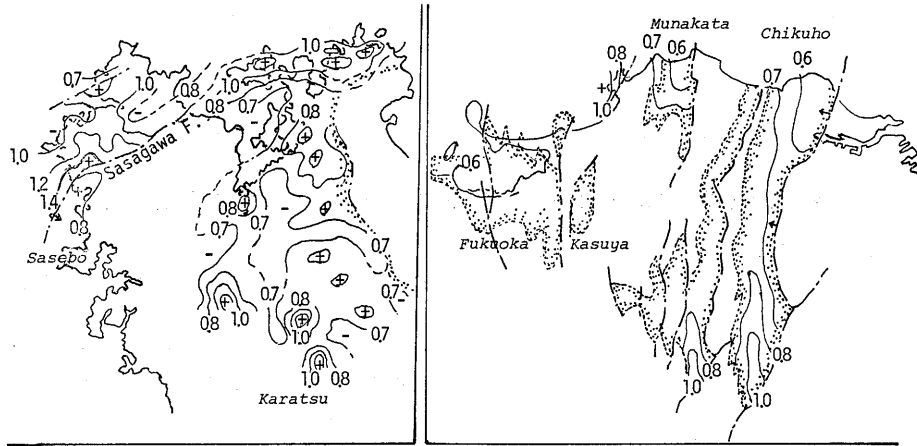


Fig. 6. Iso-Ro map of present surface.

C. 限定層準での地域的变化

地形と地層の傾斜との関係で、同一層準がある程度走向方向に追えて、Roの側方変化が調査できる場合がある。第7図は筑豊炭田の直方層群三尺・五尺層のRoの走向方向の変化の例で、ここでは、下位層準が南に厚くなり上位層準が北に厚くなる層厚変換部で、埋没が遅れたためにRoが低下している。佐々川断層

D. 限定範囲内の層位的変化

急傾斜ではないが、地形と地層の傾斜との関係で、限られた範囲ではあるが、Roの層位的変化が連続的に追えた例がある。炭田別の柱状図採取地点別に層位によるRoの変化を示すと第9図のようになる。下位層準ほどRoが上昇する傾向は見られるが、緩傾斜のため、層位差が示す埋没深度の相対的差異以外の変化要因の影響を受けていると見られる現象も現れた。

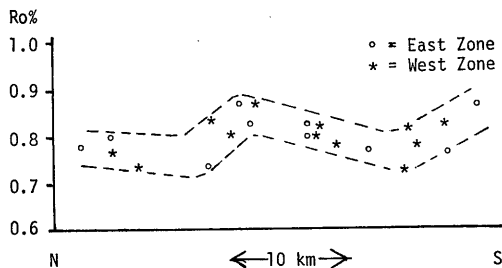


Fig. 7. Lateral variation of Ro of lower Nogata Group in southern Chikuho coalfield.

付近の例では、断層東西の同一層準では西側のRoが高く、どちらの側で同一層準の走向方向には第8図に示すような変化が見出せた。

E. 火成岩による接触熱変成

石炭層に火成岩が選択的に進入すると熱変成作用により天然コークス化するので、肉眼でも明瞭に熱の影響を認めることができる。岩脈に貫かれる場合は接触部はコークス化しているが、離れるに従い識別不可能になり、第10図のRo変化で示したように減少し、従来からいわれているように (BOSTICK, 1970; MACKOWSKY, 1968), 岩脈巾のほぼ3倍以上には変化は認められない。岩脈が傾斜する場合は、上面への影響が大である例が佐世保炭田西部で認められた。

唐津炭田南東部で安山岩が中心部に露出するドーム状構造で、周辺の急傾斜の杵島層群中の石炭層のRoは第11図のように変化しており、特に上盤側で熱の影響が大であると見受けられる。筑豊炭田南部で、石炭

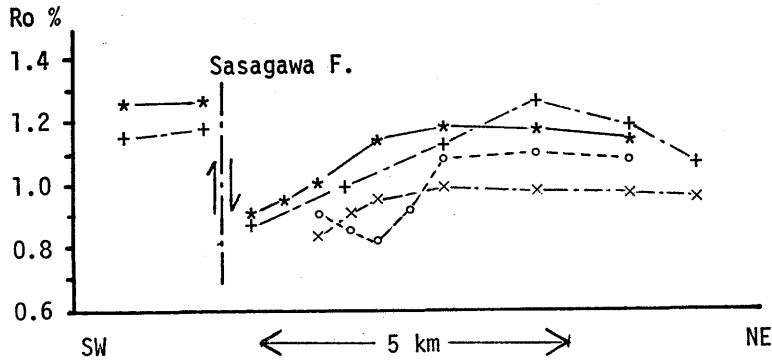


Fig. 8. Lateral variation of Ro near the Sasagawa Fault in Sasebo coalfield.

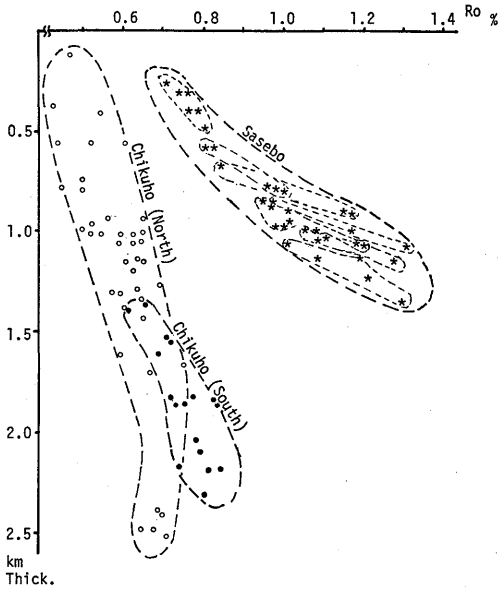


Fig. 9. Selected examples of stratigraphic variation of Ro in Chikuhō and Sasebo coalfields.

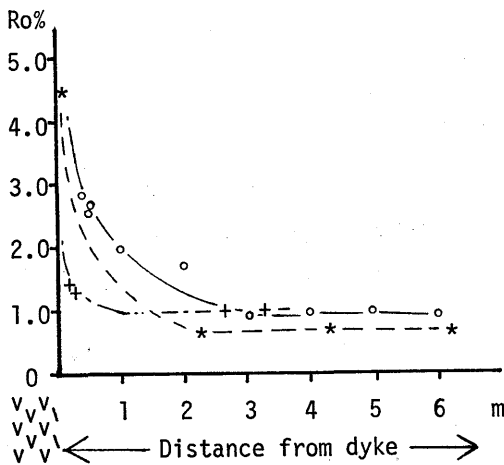


Fig. 10. Variation of Ro with the distance from igneous dyke.

層をコークス化した侵入安山岩を貫いた試錐コアで、岩床下盤側での Ro 低下は急激で、下側への熱の影響が少であったことを示す例もある。唐津炭田のドーム構造下に、試錐で粗粒玄武岩の餅盤が確認された地表の Ro の変化例を第12図に示した。また、松浦玄武岩の直下の堆積岩中の石炭化植物片の変化が地形の標高差で調べられた例を第13図に示したが、この場合も玄武岩流の熱の影響は下位には及んでいない。これら諸例は、火成岩の岩種や貫入・接触形態の差異で周囲に及ぼす熱の影響が多様化することを示唆している。

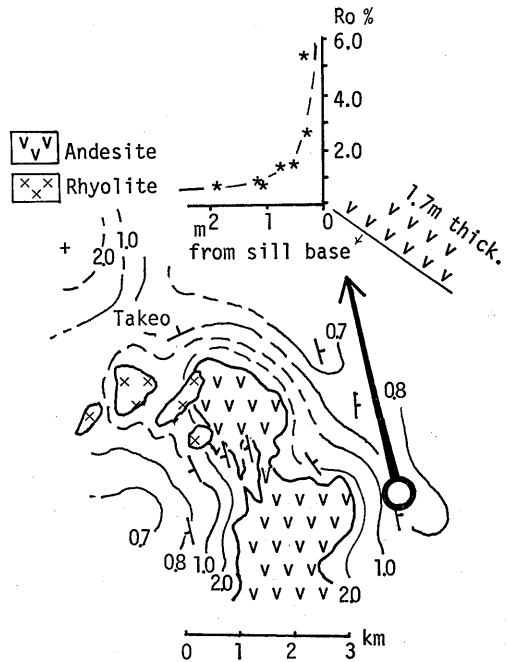


Fig. 11. Variation of Ro around a dome structure with intrusive body and related sill in southeast Karatsu coalfield.

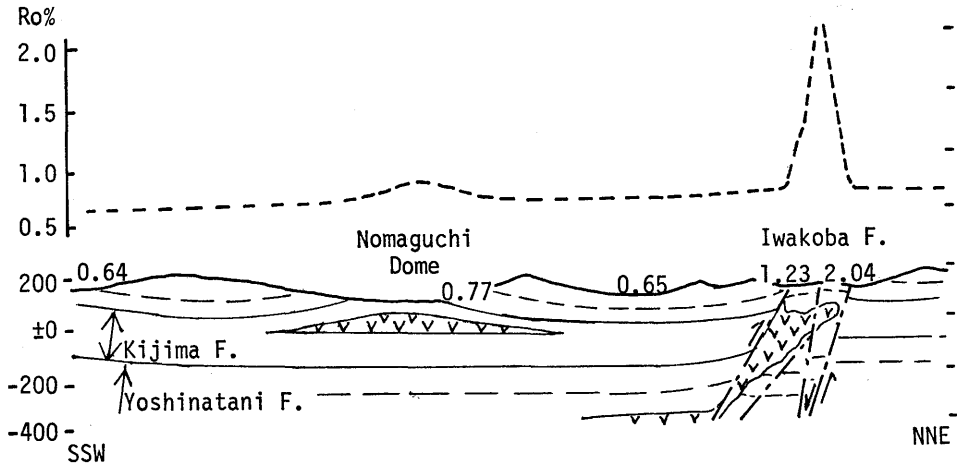


Fig. 12. Variation of Ro on laccolith-made dome and intrusives in central Karatsu coalfield (geologic cross section modified from FURUKAWA (1971)).

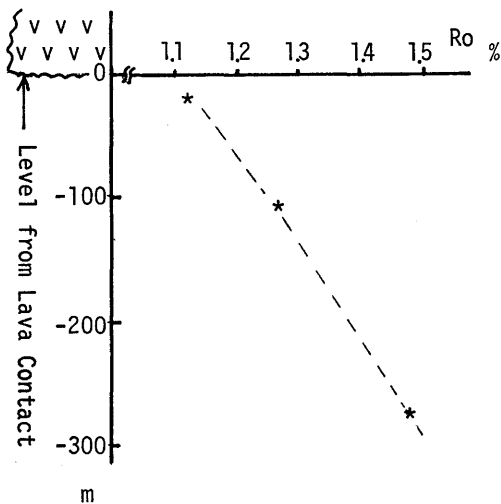


Fig. 13. Ro variation under the Matsuura basaltic lava in Sasebo coalfield.

F. 試錐における Ro 変化

緩傾斜層を垂直に貫く試錐で採集された石炭や石炭化植物片の Ro の変化を佐世保炭田での例で第14図に示した。深部へ Ro が上昇する程度、すなわち Ro 深度勾配は大で、試錐中に細岩脈が貫く場合もその付近の Ro は高くなる。試錐が火成岩を貫いていなくて Ro が高い場合も、近接した貫入岩からの熱が及んだためと考えられる。これら Ro 深度勾配は、北海道の日高前縁沈降帯での諸例(相原, 1980; 氏家・秋山, 1978;

MORISHIMA & MATSUBAYASHI, 1978) に比べると著しく大で、むしろ、東北日本グリーンタフ地域での諸例(早川ら, 1979; 鈴木ら, 1980) と類似の傾向が見い出せた。

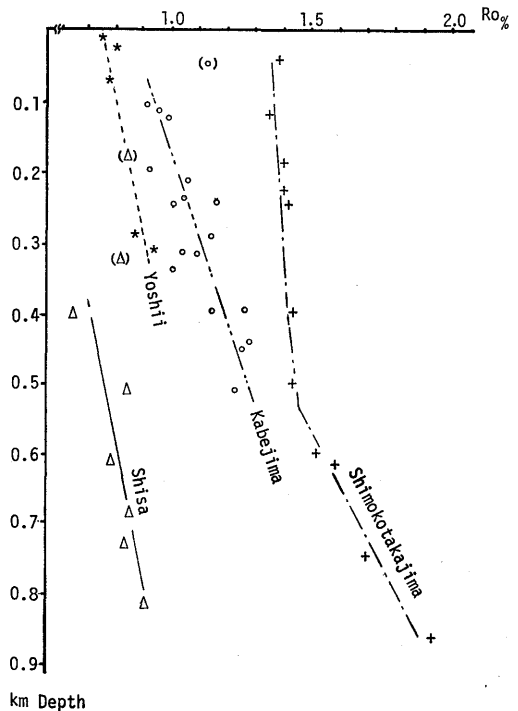


Fig. 14. Ro-depth variation in selected boreholes in Karatsu coalfield (mark with parentheses shows thermal effect from dyke).

V. 考 察

石炭化作用の進行における R_o の上昇は第2図でもわかるとおり、実験的にも熱の影響が大であることは確実である。これは、野外地質現象として認められる貫入岩周辺の R_o の上昇からも明らかである。従って、前章で示した調査結果を解析すれば、この地域の石炭化度変化、厳密に言えば R_o の各種変化、をもたらした熱と、その熱の地質要因を探ることが可能になるであろう。以下、 R_o の各種変化形態を基に、堆積から埋没を経て構造形成に至る間に、この地域が受けた熱の影響とその地質的要因について考察する。

A. 堆積盆の挙動と続成過程の被熱

調査地域は緩傾斜部が多かったため、 R_o の層位的変化は、急傾斜部の多い石狩炭田のような高い密度では調査できなかった。しかし、部分的に調査できた例では、どれも、層厚に対する R_o の変化程度は、石狩炭田に比べて大である。この事実は、下部であるほど石炭化反応が進み R_o が上昇した程度、すなわち、反応促進の温度上昇が下部で高まる程度の古地温勾配が石狩炭田におけるよりも相対的に高かったことを意味している。しかし、筑豊炭田の例のように、上位層準での R_o 上昇率をそのまま下位層準に外挿延長すると、現在地表で見られる最下位層準の R_o 値よりも高くなる。このような傾向は、急傾斜の石狩炭田でも（相原, 1977）、また、九州内帯諸炭田の予察（相原, 1980 b）でも認められていた。既に指摘したように、これは、現在の地表でみられる最下位層準は、同じく最上位層準の位置の層理面に対し垂直下位にあるのではなく、両者間の累計地層厚の値が必ずしも相対的埋没深度差を示さないために起きる現象と考えることができる。筑豊炭田では、まず、半地溝状構造を作る東縁のいわゆる基盤断層が、松下（1960, 1971）が指摘したように、堆積時に滑動しつつ傾動し、埋没が進んだのであろう。そのため、現在地表にみられる最下位の大焼層は、遙か東方に見られる最上位の遠賀層群に対しては、両者間の累計層厚ほどその直下に深く埋没されなかった。すなわち、沈降が遅れたため地温が上昇せず、 R_o も充分高まらなかったと考えられる。

大規模な同様の現象が佐世保・唐津両炭田を含む広範囲にわたっても起きていることが今回の総括で判明した。第15図は、両炭田を結ぶ代表的層序・層厚を縦軸にとり、部分的に R_o の層位的変化が判明した傾向を記入して示したものである。限られた層準内では、

確かに R_o は下位に上昇している。しかし、両炭田を通した全体的変化で見ると、下位層準の唐津炭田での R_o の多くの値は、上位の佐世保炭田での R_o の層位的変化傾向を層厚を増して下位に延長した値ほどには高くはない。むしろ、付近に貫入岩が現れた異常値を除けば、全体的には下位層準に R_o が低下するという、一見矛盾する傾向が窺える。この事実はどうのように理解すればよいのであろうか。東側で基盤に接近する下位層準の直上に、西側に発達する全累層が全て同じ層厚で連続的に堆積できたほど東側が沈降せず、石炭化反応が十分に促進されるほど高い地温環境に達しなかったと考えれば問題題は解決する。

唐津・佐世保両炭田の R_o 変化に残るこのような堆

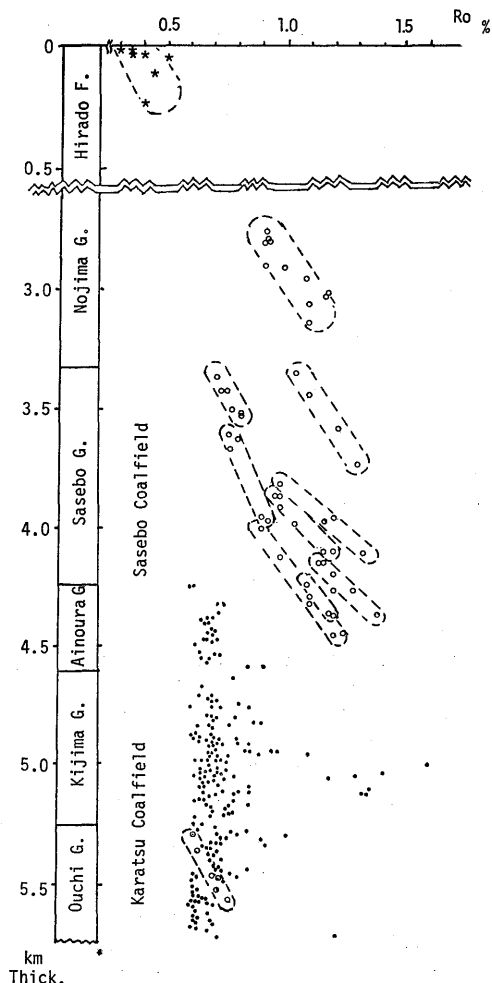


Fig. 15. Stratigraphic R_o variation through Sasebo and Karatsu coalfield (encircled points show localized tendencies).

積から続成の過程における被熱と基盤の動きに関する情報は、次のような地質的事実ともよく符合する。この地域を広く蔽う松浦玄武岩が第三系と接する層準は、東側ほど下位である。佐世保炭田北西端で野島層群が堆積し終えた時に東の唐津炭田にもその下位の全累層が同じ層厚で堆積したとすると、玄武岩溶岩流が蔽うまでに東側が急激に上昇し、現在東側で見られない層準が全て侵食されたことになる。そのような急激な変動は不自然で、それを支持するような地質的証拠も見出せない。東側では堆積量が増すほど沈降せず、相対的に埋没も浅かったため地温が上昇しなかったと考えるのが自然である。この推論は、堆積学的に考えられている唐津傾動（山崎・森永，1954）や堆積盆心の西ないし北西への移動（沢田，1958；井上，1965など）、さらには古流行（長浜，1950）などの諸現象とも整合的である。唐津炭田では、貫入岩体付近の付加的被熱による高異常値を除いて全体的な Ro が 0.7%程度と低い値を示す事実は、堆積時の埋没深度が相対的に浅く、続成作用中の被熱程度も遅れたまま上昇に転じたためである、と解釈して矛盾はない。

B. 佐々川断層付近の石炭化度変化要因

唐津炭田のドーム状構造で高 Ro 異常値を伴う場合、貫入岩の露出や試錐によりその下部に潜頭岩体が確認できたものは、火成岩からの放熱が石炭化度を高めたからであることが明らかになった。このような明確な事実に比べ、佐々川断層付近の石炭化度の上昇が断層形成の側圧にあるとする、かつて漠然と考えられた見解は、どのように扱えばよいのであろうか。この問題を次に考察する。

佐々川断層は、九州内帯諸炭田に顕著で、その炭田形成・発展と密接な関係を持つ北西—南東方向の階段状正断層と斜交ないし直交するほぼ北東—南西の走向で、しかも西側が隆起する逆断層である。その北東延長は落差が減じて存在が不明瞭になるが、ここでも第6図に示したように、高 Ro 帯が延びている。また、南西延長は二分し、一つは南下して西彼杵半島西縁を南北に走る西落ちの呼子瀬戸断層になり、他は南西海域に没して性格が不明になっている。既に岩橋（1963）が指摘し、今回も確認できたように、落差の最も大きい部分では、石炭化度のパターンはこの断層により切断・移動されており、断層運動が石炭化作用進行後に起きたことを示している。これら事実を総合すると、断層形成と石炭化度変化の因果関係は次のように説明できる。

高異常 Ro 帯の延びる北東—南西方向、すなわち西南日本弧方向の深部に貫入した火成岩がその上方に熱を伝えた。その結果、堆積岩の Ro はその岩体の中心直上部で最も高く、離れるに従い低下して描かれたが、その後、岩体の中心部が西側で隆起を続けて現在見られるような逆断層となった。ここで推定された潜頭岩体は、重力異常値の延びの方向とも一致しており、この推定の確実度を高めている。このように佐々川断層の形成とその付近の Ro の異常は、島弧方向の貫入岩体の動きで説明付けられる。

もし、佐々川断層の形成に側圧が不可欠で、かつ、それが石炭化作用をも促進したとすれば、石狩炭田夕張地区が過褶曲や逆断層、さらには衝上断層や移動地塊をも伴い、明らかに日高造山運動の東からの側圧で著しく変形を受けているにも拘らず、その Ro が 0.9%程度に止まっているのは極めて不合理であるし、佐々川断層の北東部で落差が消滅しても高異常値が残るのも不自然である。このように考察すると、佐世保炭田西部での高い石炭化度出現の原因は、西ほど活発であった火成活動からの熱にあったと判断できる。

C. 石炭化作用進行の古地熱環境

西ほど活発であった火成活動は現在地表に見られる各種火成岩の出現状況からも肯定できるが、その火成活動と因果関係があると考えられる地熱の上昇傾向を明らかにする必要がある。古地温の深部への上昇程度は、局部的ではあったが Ro の層位的変化や、試錐における Ro 深度勾配に残されている。

新生代の古地熱が、堆積岩中の石炭や石炭化植物片の石炭作用の進行程度に残されていることに着目した BUNTEBARTH (1978/79) は、ライン地溝帯の多くの試錐の Ro 勾配と産出層準の地質時代を基に反応時間をも考慮に入れた古地温勾配を算出する経験式を編み出した。当地域の地質条件がこれと類似するので、同様の仮定が適用可能とみて、試算してまとめて図示すると、第16図のようになる。すなわち、この地点付近での古地温勾配は $55\sim 75^{\circ}\text{C}/\text{km}$ に達した時期があったと推定できる。このような高い古地温勾配は、石狩炭田を含む日高前縁沈降帯の新生界を貫いた試錐で見られた、低い Ro 勾配から推定される極めて低い古地温勾配と比較すると、著しく対照的である。

同じ新生界で、このように対照的な古地温環境が現れる事実と、その間の石炭化作用進行の地質的機構については、次に考察する。

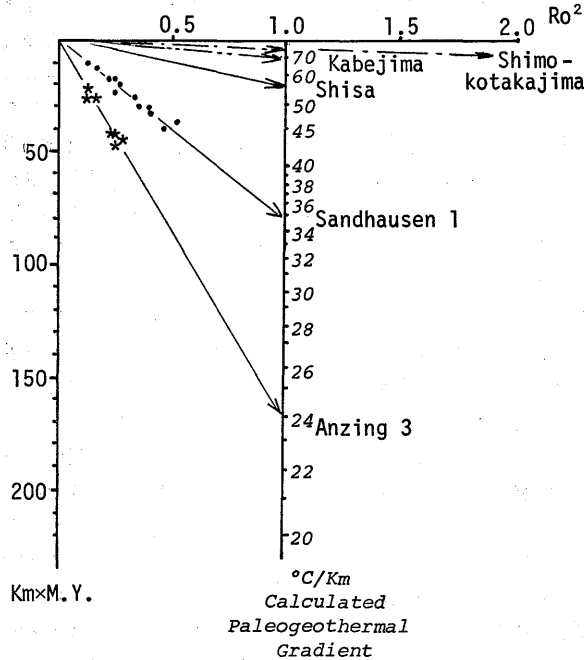


Fig. 16. Paleogeothermal gradient inferred from Ro-deph gradient and BUNTEBARTH's diagram (foreign examples are after BUNTEBARTH 1978/79).

D. 石炭化作用の特性と有機変形成態

調査地の石炭化反応が、埋没と構造形成の過程での高い古地温環境下で進行したことが判明したが、この古地温の上昇をもたらした活発な火成活動の原因を求めると、西南日本弧の内帯で、かつ、熱を保った若いフィリピン海プレートが東南から沈み込んで生れた火山前線の内（大陸）側にあるという地体構造的な位置関係をあげることができる。一方、これとは対照的に、厚い堆積物が著しく変形している石狩炭田では、東北日本弧の太平洋側の太平洋プレートと接する日高前縁沈降帯の低熱流量域で石炭化反応が進行している。このような著しく対照的な地質現象の現代版は、日本列島周辺の地殻熱流量の地域的变化 (UYEDA & HORAI, 1964; NAGAO et al., 1985) を始めとする地球物理的諸資料に基づく地殻構造と地殻表層部の構造変形との対応のなかに見出せる。

石炭化反応をして石炭特有の変化であるとするに止めず、これを含む堆積物の続成から埋没変成に至る間の地質的变化が有機物に残された結果であると考えられると、この有機物の変化程度から、母岩堆積物の続成～変成作用の進行状況を読み取ることが可能になる。その

ような有機物を通して変成現象を解釈しようとする立場で調査地域の石炭化度変化に係わる地質現象を見直してみると、次のような考察が可能になる。

今回の調査で明らかになった、試錐試料での高いRo 深度勾配を、日高前縁沈降帯の諸例と比較すると、調査地諸炭田の相対的に浅く低めの静水圧条件下で得られたRo と同じ値は、日高前縁沈降帯では静水圧の高い、さらに深い深度まで埋没されなければ得られなかったことが解る。また、同じ静水圧条件のある深度を仮定すると、古地温勾配の大であった調査地内諸炭田では、石炭化反応は速やかに進行したが、古地温勾配の小さかった日高前縁沈降帯では、石炭化反応は遅れてRo は低いままに止まった。この石炭化反応の温度・圧力条件は、広域変成作用が進行するような条件よりも著しく低いが、地質現象における化学的变化を規制する一つの条件とみると、調査地内諸炭田では日高前縁沈降帯におけるよりも、相対的に高温側か低圧側で石炭化反応が進行した、ということが出来る。

対照的な温度・圧力条件下で反応が進行した石炭が、有機化学的にみてそれぞれの特徴を持っていても不思議ではない。既に指摘 (相原, 1979; AIHARA, 1980 a, b) したように、Ro の変化で温度の影響は読み取れるが、

この値だけからでは、低～中石炭化度領域での圧力に関する情報は読取れない。それを石炭自体から探るのには、石炭分子を構成する含酸素官能基などの圧力変化にも影響され得る化学構造の挙動から読取らねばならない。日本炭 vitrinite の詳細な化学的調査(杉村ら 1966; 大沢ら 1969)を検討すると、上記反応条件の差が現れているとみなせる化学的特徴が、幾つか見出せることも既に指摘した(相原 1980 b)とおりで、化学的变化からも地質的考察の裏付けが可能であるといえる。

日本列島には、古い地質時代の広域変成作用における温度・圧力条件で対照的な対をなす変成帯が存在することが、MIYASHIRO (1961) により指摘された。それ以来、これが島弧系の地質的特徴の一つに数えられてきた。地質時代を若くえらせながら、変成度を低下させて、現在主義的立場で見ると、最も現在に近い新生界で、最も低い変成領域に接する地質現象を扱えることになる。その変化を鋭敏に反映できる堆積岩中の石炭化物質をもって検討を進めて来た結果、さらにその延長で現在の地殻熱流量の地域的变化から推定できる地殻熱構造と良く対応できる、対照的な有機変成の形態の一面を描き出すことができた。このようにしてみると、調査地における石炭化度の変化は、日本列島の島弧の最内側堆積盆で、必然的に生じた古地熱現象の一つの現れである、と理解することができる。

VI. ま と め

A. 要 約 結 論

以上の調査結果と考察を、主題に関してまとめて結論とすると、次のようになる。

現在の地表に現れた Ro の地域的・層位的变化を解析した結果、松下(1960)が指摘した西ほど高い石炭化度は、西ほど活発であった火成活動に伴う熱の影響を受けたために備わったものであることが判明した。その古地熱環境は、Ro 深度勾配から 55~75°C/km の古地温勾配に達するものであると推定できた。この古地熱環境が、現在でも高地殻流量域として継承されている、と理解できる。

各種の Ro 変態形態のなかに、堆積と埋沈の過程で獲得した続成的変化が見出せて、基盤の傾動と堆積経過との関連付けができた。それは、大局的にみると、背振山地の東方の筑豊炭田では主に東へ、また、西方の唐津・佐世保両炭田では主に西への傾動であるが、この推定は従来の堆積学的・構造地質学的解釈とも矛盾しない。

佐々川断層付近の Ro 変化の解析から、その高異常部は島弧方向に延びた潜頭貫入岩体からの熱により生じたもので、その後の岩体の隆起が断層を形成し、既成の石炭化度変化パターンを切断・移動させたと解釈できた。唐津炭田の高 Ro 異常値を伴うドーム構造が火成岩の進入により形成されていることも判明したので、これら構造形成には横圧力が加わったとする必然性はなく、その横圧力と石炭化作用促進との因果性も薄れた。

地質構造的要因と石炭化作用促進要因との関連を求めるならば、現在見られる断層や褶曲ではなく、それらが形成された古地温環境を産み出した、地体構造と関係深い地殻熱構造に求めるべきであることが判明した。すなわち、今回明らかになった高い古地温環境で生じた埋没・続成過程での被熱は、西南日本弧最内側で火山前線の内側という地体構造上の位置と、中新世以後活発化した火成活動という構造地史的背景のうえに、必然的にもたらされたということができた。この条件を石狩炭田などを含む日高前縁沈降帯の石炭化度変態形態と比較し、かつ、現在の地殻熱流量の地域的变化で当地域が高熱流量域にあるという事実を考慮した結果、上記のような地体構造のなかで、当地域では特有な、相対的に高温かまたは低圧側の条件で、有機変成が進行したことが判明した。これは、日高前縁沈降帯で見られた、相対的に低温か高圧側で進行した有機変成とは、顕著な対照的現象であって、両者をわあせて、新生代の日本列島の地体構造に備わった熱的性格を反映した有機変成の形態であると理解できた。

B. 今 後 の 問 題

現在までに収集できた資料を基に考察を行ったが、今後さらに資料が増せば、解析や推定の精度がさらに高められる可能性はある。Ro 測定値の密度を高め、堆積岩・火成岩の時代判定の精度が高められれば、被熱履歴のさらに詳しい解析が可能になる。堆積岩の古生物学的・層序学的時代区分、火成岩の絶対年代や火山層序学的資料などの情報を増すこと、およびそれら分野の研究の進歩と平行した考察を重ねると、などが今後の島弧系の有機変態形態の解析精度向上のうえに残されている。

調査対象範囲の拡大も残されている。特に南方の西彼杵・天草両炭田での高石炭化度炭の出現の解析や、西方の五島地区での深成岩の影響の検討などは、引続く対象地の課題として残されている。

高石炭化度炭には Ro の光学的異性が生ずるが、

この問題は稿を改めて考察する(相原ら, 1987)。また, 今回は深く触れなかったが, 火成岩の岩種別・貫入形態別の熱の伝播機構に関する考察が残されている。この問題は筆者らのうち鮎沢(AIZAWA, 1985)と山田(1986)が調査範囲内で, また, 千々和(1985)が熊野炭田で研究しているので, 後日まとめられる予定である。

今回までの一連の調査・研究の結果, 九州内帯諸炭田の石炭化反応には火成活動が密接に関係することが判明したが, その機構の考察をこの分野の研究の進歩に注目しつつ進め, 被熱の影響の検討を重ねることも残されている。また, Ro 以外の指標による調査・研究が同程度の精度と密度で行われれば, その結果との比較・検討も必要である。

文 献

- 相原安津夫(1977): 輝炭反射率からみた北海道古第三紀炭の石炭化度の層位的変化。九大理研報, [地質], 12, (3), 228-233。
- (1979): 北海道第三系・上部白亜系の有機変成と石油の熟成。石油技協誌, 44, (3), 124-133。
- ・中村盛之・麻生照雄・峯苦彰吾(1980a): 石狩炭田における石炭化度変化と有機変成。鉱山地質, 30, (9), 229-140。
- (1980b): 九州内帯新生界有機変成の予察的研究。九大理研報, [地質], 13(2), 295-305。
- ・千々和一豊・鮎沢潤(1987): 統成～低変成堆積岩中の石炭化物の光学的異方性に関する地質学的問題の予察。九大理研報, [地質] 本号
- AIHARA, A. (1978): Stratigraphic coalification pattern and its implication to geologic development of the Ishikari coalfield, Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ.*, [D], 24, (1), 33-46。
- (1980a): Coalification pattern and organic metamorphism of the Paleogene system in the Japanese Islands. *Prof. S. Kanno Mem. Vol. Tsukuba Univ.* 497-510。
- (1980b): Formation and organic metamorphism of the Paleogene coal deposits in the Japanese Islands. *Indust. Minerale les Techniques*, Juin 307-314。
- 鮎沢 潤(1984): 唐津炭田北部の石炭地質学的研究。九大卒論, 手記。
- AIZAWA, J. (1986): Characterization of coalification from geological view points. Mas. Thesis, Geol. Dep., Kyushu Univ.
- 浅野五郎(1958): 筑豊炭田の進入火成岩と石炭の熱変成。鉱山地質, 8, (31), 283-299。
- (1959): 筑豊炭田の進入火成岩と石炭の熱変成。鉱山地質, 9, (34), 101-117。
- A. S. T. M. (1972): Standard method for microscopical determination of the reflectance of the organic components in a polished specimen of coal. D-2798-72。
- BOSTICK, N. H. (1970): Measured alteration of organic particles (phytoclats) as an indicator of contact and burial metamorphism in sedimentary rock. *Geol. Soc. Am. Abstr.* 2, 74。
- BUNTEBARTH, G. (1978/79): The degree of metamorphism of organic matter in sedimentary rocks as a paleo-geothermometer, applied to the Upper Rhine graben. *Paleophys.* 117, 83-91。
- CHANDRA, D. (1963): Reflectance of thermally metamorphosed coal. *Fuel*, 42, 69-74。
- 千々和一豊(1985): ビトリナイト地質温度計を用いて推定される紀伊半島南部 15-14 Ma の古地熱流量。95地質学会演旨, 174。
- CORREIA, M., MAURY, R., & ARAI, F. (1974): Measure, par leur pouvoir reflecteur, des temperatures de carbonisation des bois fossiles dans les formations volcaniques. *Bull. Cemure. Rech. Pau, SNPA*, (8), 2, 527-536。
- 古川和代(1971): 明治佐賀炭鉱坑内異常出水に関する地質学的研究。松下記念論集, 241-281。
- 古川俊太郎(1970): 1/2.5 万佐世保北部地域地質図, 地質調査所。
- (1974): 日本炭田図 XII 1/1万佐世保炭田西南地域地質図及説明図, 地質調査所。
- 早川典久・鈴木舜一・小田幸人・浜地昭男・南部松夫(1979): グリータフ地域第三系中のビトリナイトの反射率と火山砕屑岩の変質。鉱山地質, 29, (2), 103-111。
- I. C. C. P. (1963, 1971): International handbook of coal petrology. Int'al Comm. for Coal Petr., Cont. Nat. de la Res. Sci., Paris。
- 井上英二(1958): 唐津炭田南北における杵島層群の岩相変化と地質構造。地質雑, 64, (748), 29-39。
- (1965): 主として層厚の変化からみた相知・杵島両層群の関係についての一解釈。鉱山地質, 15, (74), 308-317。
- (1971): 北西九州上部漸新統杵島層の化石群集と堆積環境。松下記念論集, 67-90。
- 岩橋 徹(1963): 佐世保炭田の石炭化度の地質学的研究。九大理研報, [地質], 6, (2) 67-90。
- JIS (1986): 石炭の微細組織成分及び反射率測定法。M 8816. 日本規格協会。
- 唐木田芳文(1952): 北九州の花崗岩類の地質学的研究(演旨)。地質雑, 58, (682), 277。
- (1985): 北九州花崗岩の地質学的分類。応用地質九州部会報, 6, 2-12。
- 笠山浩昭(1983): 佐世保炭田北西部における石炭化度変化の石炭地質学的考察。九大卒論, 手記。
- 木原敏夫(1955): 唐津炭田の研究(その1) 鉱山地質, 5, (18), 248-252。
- (1956): 唐津炭田の研究(その2) 鉱山地質, 6, (19), 25-28。
- 古賀義人(1981): 佐世保炭田南西部における石炭化

- 作用の地質学的考察. 九大卒論, 手記.
- MACKOWSKY, M.-TH. (1968): European Carboniferous coalfields and Permian Gondwana coalfields. In MURCHISON, D. & WESTOLL, D. (eds), *Coal and coal-bearing strata*, 325-345, Oliver & Boyd.
- 前田純二 (1980) 筑豊炭田にみられる石炭化作用. 九大地質修士論文, 手記.
- 松本征夫 (1960): 杵島地区における松浦玄武岩類. 九大生研報, (28), 36-52.
- ・山崎達雄 (1960): 唐津炭田の貫入火成岩類特に肥前粗粒玄武岩類について. 九鉱誌, 28, (7), 312-325.
- ・富田 達 (1960): 唐津炭田における肥前玄武岩とその随伴岩類について. 九大生研報, (28), 4-35.
- 松下久道 (1949): 九州北部炭田の地質, 九州北部における古第三紀の層序学的研究. 九大理研報 [地質], 3, (1), 1-57.
- (1951): 九州北部炭田の地質構造. 九大理研報, [地質], 3, (2), 49-54.
- (1960): 日本鉱産誌, B, V-a, V, 九州 545-668, 東京地学協会.
- (1966): 唐津炭田の地質構造, 特に玄武岩溶岩溜との関連について. 松下進記念論集, 75-82.
- (1967): 筑豊炭田の堆積盆地. 佐々記念論集, 425-436.
- (1971): 九州北部夾炭堆積盆の生成の一考察. 九大理研報, [地質] 11, (1), 1-16.
- 宮地六美 (1981): 漸新世相知層群中の火砕流堆積物. 九大教養地研報, 22, 1-6.
- MIYASHIRO, A. (1961): Evolution of metamorphic belt. *Jour. Petr.*, 2, 277-311.
- 水野篤行 (1962): 西日本地域における古第三系および下部新第三系の古生物年代学的研究 (第2報). 地質雑, 68, (607), 687-693.
- 森昭宏 (1986): 伊万里市周辺の佐世保・唐津両炭田における石炭地質学的考察. 九大卒論, 手記.
- MORISHIMA, H. & MATSUBAYASHI, H. (1978): ESR diagram; a method to distinguish vitrinite macerals. *Geoch. Cosmochim. Acta.* 42, 537-540.
- 長浜春夫 (1950): 斜層理からみた北西九州第三紀層の堆積. 地調報告, (211), 1-66.
- NAGAO, T., FUJISAWA, H., YAMANO, M., & UYEDA, S. (1985): New heat flow data in Japan. *23rd IASPEI Abstr.*, 1, 302.
- 長尾 巧 (1926-1928): 九州古第三紀層の層序 (その1-23), 地学雑, (30-40), 445-462.
- 野田光雄・山崎達夫 (1950): 佐世保炭田北東部における佐世保層群の層序. 九鉱誌, 18, (10), 301-307.
- 大沢祥弘, 杉村秀彦, 藤井修治 (1969): 石炭の炭化初期段階に関する研究 (XVII, XVIII, XIX) 赤外吸収スペクトル (1-3). 燃協誌, 48, (505), 303-309, (509), 694-702, (509), 703-711.
- 沢田秀穂 (1955): 佐世保炭田北松強粘結炭地域の地質に関する若干の覚書. 地調月報, 6, (12), 729-732.
- (1958): 日本炭田図 II, 北松炭田, 同説明書. 1-1300, 地調.
- STACH, E., MACOWSKY, M.-TH., TEICHMÜLLER, M. & R., TAYLOR, C. H., & CHANDRA, D. (1981): *Coal Petrology*. (1st ed., 3rd ed. in '82), Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- 杉村秀彦・大沢祥弘・畑見正男・佐藤春夫 (1966): 石炭の炭化初期段階に関する研究, (I) 組織分析・工業分析・元素分析からみた日本炭. 燃協誌, 45, (468), 199-208.
- ・紫波正史 (1967): 同上 (X) 石炭の反射率. 燃協誌, 46, (488), 911-918.
- 鈴木舜一・山田幸夫・唐沢広和・南部松夫 (1980): 阿仁鉱山付近における中新統中のビトリナイトの変質. 鉱山地質, 30, (5), 299-307.
- 鈴木 敏 (1893): 1/4万 福岡県豊前及筑前煤田地質図並同図説明書. 地調.
- (1894): 筑豊煤田地質調査報文. 地学雑, 6, (63), 72.
- (1895): 同上. 地学雑, 7, (74), 79.
- 竹原平一 (1952): 佐世保炭田の堆積環境. 地質雑, 58, (682),
- (1956): 佐世保層群の層序学的研究その1-4. 九鉱誌, 24, (8), 411-428; (9), 492-509; (11), 573-587; (12), 607-611.
- 高橋良平 (1959 a): 石炭化作用からみた唐津炭田の天草型地質構造. 鉱山地質, 9, (37), 289-296.
- (1959 b): 唐津・天草両炭田における石炭化作用と地質構造の関係. 石炭利用技術会議録. A/5, 26-31.
- (1960): 日本炭の炭質におよぼす地質構造の影響. 燃協誌, 39, (401), 624-635.
- ・浦田英夫・小原浄之介・富田幸臣・太田一也: 新発見に基づく筑豊炭田の地質構造. 九大理研報 [地質] 11, (1), 135-132
- TAKAHASHI, R. (1958): Die Beziehung zwischen der geologischen Structur und Inkohlung im Chikuho-Kohlenbecken Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, [D], 9, (1), 1-18.
- (1959): Die Beziehung zwischen der Inkohlung und geologischen Structur in Karatsu-Kohlenbecken. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, [D], 9, (1), 1-15.
- 立石 勝 (1977): 筑豊炭田遠賀地区における堆積物の続成埋没作用. 九大卒論, 手記.
- 鶴田勝也 (1985): 唐津炭田北東部における石炭地質学的研究. 九大卒論, 手記.
- 上治寅次郎 (1927): 噴出岩により変化せる石炭の性質. 小川記念論集, 679-6967.
- (1935): 北松浦炭田における夾炭層の層序略説. 地球, 23, ((3), 165-178.
- (1938): 北松炭田地方地質図及び同説明書. 北松南部鉱業会, 1-50.
- UEJI, T. (1936): Intrusive rocks and their

- influence on coal seams in Chikuhō coalfield, Japan. *Mem. Coll. Eng. Kyoto Imp. Univ.*, 9, (3), 163-189.
- 氏家良博, 秋山雅彦 (1978): 基礎試錐「浜湧知」コアサンプル中のケロジエン. 石油技協誌, 43, (2), 60-67.
- UYEDA, S. & HORAI, K. (1964): Terrestrial heat flow in Japan. *Jour. Geoph. Res.*, 69, 2121-2141.
- 矢部長克 (1926): 九州炭田に関する将来の地質的研究. 燃協誌, 5, (44), 448-452.
- 山田琢也 (1986) 唐津炭田南東部の石炭地質学的研究. 九大卒論, 手記.
- 山崎達雄 (1953): 唐津炭田の層序. 地質雑, 59, (696), 4083-419.
- ・森永陽一郎 (1954): 唐津・佐世保両炭田の関係. 地質雑, 60, (710), 473-486.
- (1959): 唐津炭田の地質構造と貫入火成岩類. 九大生研報, (26), 33-53.
- ・松本征夫・森永陽一郎 (1960): 唐津炭田北部における相知・杵島両層群の関係. 九大生研報, (27), 54-65.
- ・古川俊太郎・坪島務 (1971): 佐世保炭田北東部における佐々川断層. 松下記念論集, 419-431.
- 吉村辰朗 (1980): 佐世保炭田中部の石炭化度変化の石炭地質学的考察. 九大卒論, 手記.