

秋吉台と京都北山——本州造山運動を中心に——

清水大吉郎 = 京都大学理学部地質学鉱物学教室

秋吉台のなりたち
＜珊瑚礁の海と海底火山＞
日本の本州島の中心である飛騨山脈から西へむかうと、けわしい山々は次第に低くなり、中国山地に入ると、大山のような新しい火山のほかは、どちらかというとなだらかな山々がうねりながらつづく。これらの山々は、飛騨山地などにくらべると最近の隆起量が小さいため、なだらかな山容を示しているのだが、その本体を形づくっているのは、今から2億年から3億年も以前に海底に形成された地層なのである。本州島が西の海につきる手前、小郡と萩のちょうど中間にある秋吉台は、その日本ばなれした景観と見事に発達した鍾乳洞によって、観光客の人気を集めている。この秋吉洞は、第四紀という最も新しい時代に、石灰岩が地下水の溶食作用によって出来あがったものであることは、本誌№11号でくわしく紹介されている。ここでは、そういう大規模な石灰岩がどのようにして形成されたのかをみてみよう。
秋吉台は、以前から豊富な化石産地として知られている。最も多いのは紡錘虫や珊瑚の化石だが、ほかにも貝類や腕足類、また層孔虫、石灰藻なども多い。いずれも、炭酸カルシウムの殻をもつものである。これらの動物たちは、水のきれいな浅い海の底を這ったり、また海底に固着して生活し、死ぬと、そのまま堆積して固まっていった。現在の太平洋においても、珊瑚礁というのはこうした過程をへて形成されているのだが、同様のことが、2億年以上前の日本の海で起っていたのである。
秋吉台科学博物館の太田正道氏は、秋吉台石灰岩の中の化石の分布や岩質のちがいを綿密にしらべ、このような生物礁によって秋吉台石灰岩が形成されたことを明らかにした。図1に示すのがそれである。かんたんにいうと、海水の深さ、水の動きなどによってそこに住む生物がちがうので、海底火山の上にはリング状に生物体の集まった礁性（リーフ）石灰岩が形成される。その中の円形のくぼみには、波静かなので、ごくこまかい石灰質の砂や泥が沈積する。リング状の礁の外側は水の動きが激しいので、こわされた礁の破片が、がらがらとつもっていく。そのさらに外側には、石灰質でないふつうの泥や砂が堆積する。
このようにして、直径20 km以上もある厚さ数100mの石灰岩体が形成されたのである。現在、

西南日本各地に石灰岩台地として残されているものは、殆んどこうして形成されたもので、西からいうと北九州の平尾台、山口県の秋芳台と半田蔵目喜台、広島県の帝釈台、岡山県の阿哲台と大賀台などである。さらに東にすすむと、滋賀・岐阜県境の伊吹川塊やその南の霊仙の山々もそうであり、岐阜県の各地に点在しながら日本海岸の青海の石灰岩に終わっている。このことは、2億数千万年前の日本地域には、こういった海底火山の高まりが各地に広く点在していたことを示している。
＜本州地向斜＞
では、こういった礁性石灰岩の場のまわりの地域はどうだったのか。点在する石灰岩台地をとりまく広い地域には、非石灰岩相とよばれる地層が広く分布している。その地層は、大部分は粘板岩や砂岩（^{さいしやく}砕屑性堆積岩）である。そのほかチャートの地層やあるいはシャルスタインとよばれる海底火山の噴出物も多い。これらの非石灰岩相の地層は、石灰岩相と同じ時代のものだけでも3000mから8000mの厚さにも達している。地層の岩相からいうと、それだけの深さの海が埋められたのではなく、浅い海に地層が形成されたが、地層が上へ上へと堆積するにつれて、もとの海底がどんどん沈降していった、それだけの厚さの堆積物をうけ入れていったのである。
こうして形成された厚い地層は、のちに上昇に転じ山脈となるが、そのもととなる厚い堆積物をためた海を地向斜海という。そして、わたしたちはこの2億数千万年前の古生代末期に広く西日本一帯を包み、秋吉台をはじめ各地に石灰岩台地を残した地向斜海を本州地向斜とよび、その運動全体を本州造山運動とよんでいるのである。ところで、地向斜海のうち、海底火山活動が激しかった部分を^{なづ}優地向斜、少なかったところを劣地向斜とよんでいるが、本州地向斜の様相をもう少しくわしく調べてみよう。
京都北山の岩石
秋吉台の石灰岩と同じ時代の地層は、日本中に広く分布しているが、そのうちで、石灰岩の非常に少ないものの代表として、京都周辺の山々のものがあげられる。北山杉のしげる洛北の山々は、いかにも日本的なたたずまいで人々の心をなごませるが、しかしここにはまた、本州地向斜の運動をさぐる重要な力がかくされてもいる。これらの山々には、石灰岩の岩体は、ごく

小さく、まれにしか見ることができないが、いったん砂岩や粘板岩など碎屑岩のほか、珪質のチャートやシャルスタイン層が多い。これらの岩石は、地向斜のうちでも、より運動の活発な——海底火山の活動がきわめてはげしかった優地向斜を示すものなのである。
＜微生物がつくったチャート＞
地向斜の地層の一部をつくるチャートは、珪質の硬い岩石である。チャートという名前は、もともとは、ガラスのように硬く、かつ鋭利に割れるという意味で使われたもののようである。この岩石の成分は、95%以上がシリカ（SiO₂、無水珪酸）で、硬さの原因もそこにある。チャート層の起源については、生物源説と化学的沈澱説の二つが古くから対立していた。生物源の根拠は、チャートを顕微鏡で見ると、放散虫の殻が多数見えることにあった。他方、無機的な化学沈澱説の根拠は、放散虫が見えてもそれ以外の圧倒的な大部分は、微晶の石英からなっているということにあった。1950年代から電子顕微鏡の利用が盛んとなり、チャートを電子顕微鏡でしらべる研究があいついだ、その結果はチャートは、微細な（1～5ミクロン）の石英の結晶の集まりであることがわかり、それは、無機沈澱説の証拠であるかに見えた。しかしそこには、ひとつのおとし穴があった。じつは、あとになってわかったことだが、チャートを微細な生物の殻の集合であるというためには、電子顕微鏡の倍率は巨大にすぎたのである。ある人はこれをたとえて、人間の皮膚の構造を見て美人かどうかを判定しようとする類の誤りであるといっている。
ところが、あるきっかけから、チャートを弗酸（HF）で腐食させてみると、その表面に、実に多くの放散虫の殻や海綿の骨針が見られることがわかった。それは、低倍率の顕微鏡でもうかがえるが、走査型電子顕微鏡で200ないし300倍の像を撮影してみると、繊細な放散虫の殻やそれから突出する細く長い棘などが立体的にとらえられる。この発見は、チャートの起源をめぐる長い論争に終止符を打つことになった。
さらに慎重な観察によって、放散虫の殻とともに大量に含まれている細長い海綿の骨針が、一定の配列をもっている場合の多いことがわかった。細長い棒状の化石が、水の流れによって一定の配列を示すことは、他のさまざまな化石の場合によく知られている。したがってチャート

<注1>このような構造は、乱泥流によって形成されたダービ
ダイトに見られ、チャート層の形成にも似た機構を考えること
ができる。

層の形成においても、同様の水の流れが働いて
いたことは明らかである。さらにチャート層の
中には、粒度(殻の大きさ)の変化や斜交葉理、
あるいは底痕(ソールマーク)なども観察される。
これらのことも海底での流れを示していて、当
時の地向斜海の相を復元するための貴重な証拠
となる。(注1)

<枕状溶岩>

本州地向斜の地層のなかには、古くからシャ
ールスタイン層とよばれる地層があった。それは
多くは緑色をしており、凝灰岩の部分もあれば、
溶岩質の部分もあったが、くわしい構造がわか
らなかったこともあって、一括してこの名でよ
ばれていたのである。ところが最近になってく
わしい観察から、これが海底火山の溶岩流の積
み重なりであることが明らかになってきた。京
都の山地では、川底で岩石がよく洗われている
場合や、あるいはまた新しい道路の切り割りな
どに、図2に示されるような構造が観察される
ことがある。このうち最下部の部分は、割れ目
の少ない塊状部であるが、その上にレンズ状あ
るいは垂球状の割れ目の多い部分がある。そして
それは、上にむかってゆくほどレンズや垂球の
大きさが小さくなってゆく。このような形は、
立体的にみると枕の形に似ていることから、ふ
つう枕状溶岩とよばれている。また日本では、
断面の形から、車輪石とか米俵石とかよばれて
いることもある。この枕状部の上には、枕状部
の破片の集積したものや火山灰に由来する凝灰
岩の部分がある。実際の地層では、いまのべた
構造の層(5~30mの厚さ)が順次積み重な
って、厚い地層を形成している。これらの一つ
一つの地層は、海底火山の一回の噴火による溶
岩流によって形成されたものなのである。現在
でもハワイなど火山の溶岩流が海底に流れこん
だところでは、このような枕状溶岩の層がつく
られている。2億数千万年前の本州地向斜の海
では、多くの場所で海底火山がはげしく活動
していた。そのあるものは、海山となつてとど
まり、その頂きに礫性石灰岩をのせいたが、多
くのは、陸から流れこむ大量の砂や泥の地層
によって、海底深く沈みこんでしまったのであ
る。

<タービダイト>

地向斜で形成された地層のうち、もっとも量
の多いのは砂岩や粘板岩(頁岩)のような陸源
の碎屑物質からなる地層である。その中には、
砂岩と粘板岩がくりかえし重なる互層とよば

図1・A - 秋吉台石灰岩の形成機構

<太田正道氏の図を簡略化>

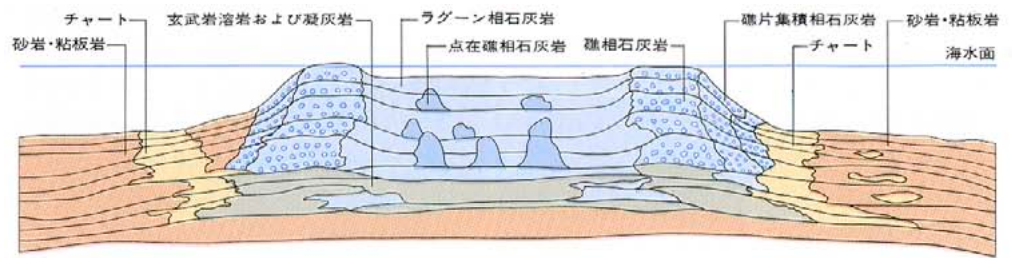


図1・B - 石炭紀~二畳紀の地向斜性堆積岩層の岩相と厚さ

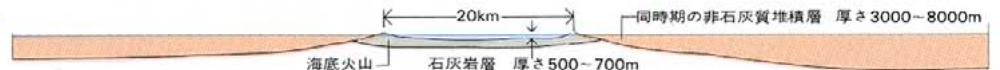


図2・A - 京都北山の河床における枕状溶岩の産状

<岡市ほかより>

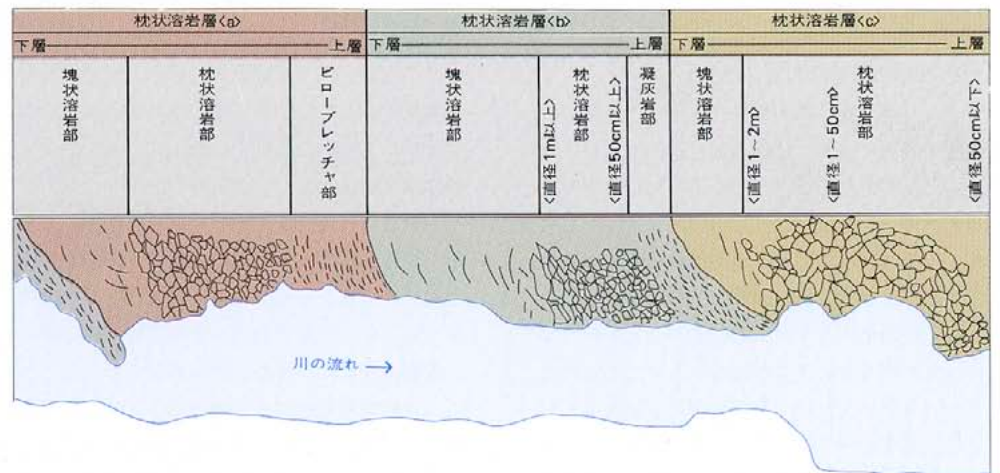
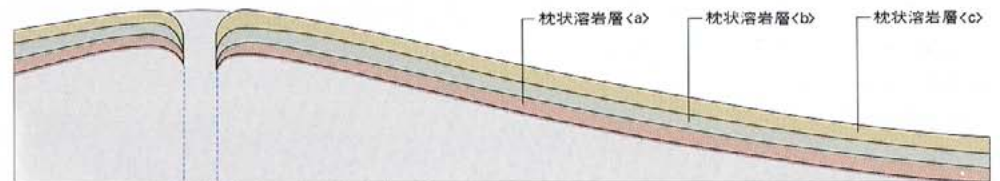
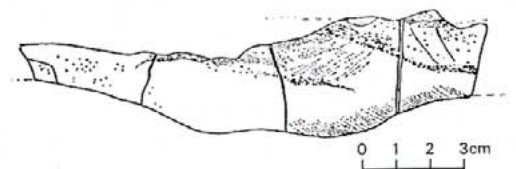


図2・B - 海底火山の模式図



丹波層群チャートの露頭



丹波層群チャートのソールマークとその内部堆積構造
微細な粒点は放射虫化石の配列を示し、それよりやや大きい粒
点は炭酸塩岩。

ものが非常に多い。そういう地層は、陸から運ばれた砂や泥が浅海に堆積したあと、何らかの原因で動き出し、混りあってより深い海底へ流れ下って定着したものである。そういう流れを混濁流あるいは乱泥流（注2）とよび、それによって形成された地層をタービダイト（注3）とよんでいる。

タービダイトの実態については、世界の各地で各時代の地向斜について研究されており、日本では四万十^{しまん}地向斜での研究がすすんでいる。本州地向斜の地層のなかのタービダイトについても研究がすすんでいて、その形成機構が明らかになりつつある。タービダイトをつくった海底の流れの方向を知ることは、当時の古地理の復元に大いに役立つのである。

2 億3000万年前の海と陸

以上のべた事実から、古生代末期（二疊紀）の海陸の分布を復元してみると、図6-Aのようなものがえがかれる。図は、二疊紀初期から中期の古地理図で、北方には、広い飛驒大陸があって、本州地向斜海に砂や泥の堆積物をもたらしていた。この大陸は、遠く東アジアの大陸につながるもので、北中国から朝鮮半島にかけて存在した中朝古陸の東縁部にあたる。この陸地は、先カンブリア代以来のたびたびの変動をへて形成されたもので、岐阜県の各地では、タービダイト層下底の底痕により、北の陸地から堆積物が供給されたことが明らかにされている。いっぽう京都北山のいくつかの例は、北からで

はなく、南あるいは南東方向からの流れを示している。この場合も、いくつかの古期岩類の礫が発見されていることから、丹波地帯の南側に複雑な組成をもつ陸地があったことを推定しているのである。この陸地は、広いものではないが、上昇は激しく、それだけ浸食と堆積物供給の量は多かったとみられている。またそのことは同時に、この陸地は削剥しつくされて、現在の地表に広い痕跡を残してはいない。このような陸地を構造山地（テクトニック・ランド）とよんでいる。（図6-B）

同じような構造山地は、西南日本外帯の黒瀬川構造帯にそっても存在し、二疊紀の中期から後期にかけて大量の礫・砂のような粗粒碎屑物をもたらした。このように、本州地向斜の海は、多くの海底火山や火山島が分布し、構造山地も列状に配列しているという、たいへん複雑な様相をていついていたと考えられる。

本州造山運動

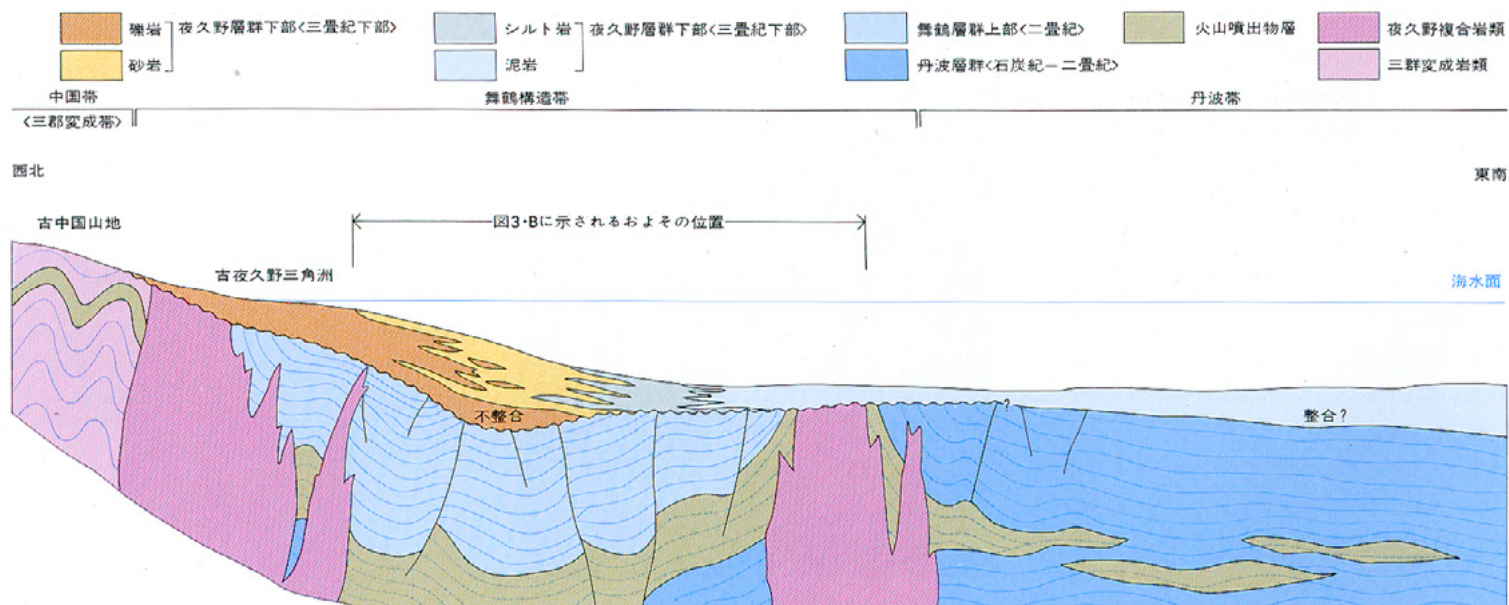
——舞鶴構造帯の深成岩と隆起する中国帯——
古生代末から中生代のはじめにかけての時期は、世界的にもまた日本でみても、大きな転換の時期であった。京都府北部から中国地方にかけての舞鶴地帯には、その具体例が数多く発見される。舞鶴地帯に化石が多産することは以前から知られており、それによって二疊紀から三疊紀の海成層の分布をたしかめることができる。岩相からいうと、二疊紀中期以降、礫や砂岩が優勢となり、またタービダイトも多く形成されて

いる。これらの様子から、当時、南方の構造山地の上昇と同時に、北方の中国帯地域では、すでに隆起がはじまったことがわかる。中国帯の本州地向斜の地層は、二疊紀末までに海底下深く沈みこんでいったために、下部の地層は、高い温度と高い圧力をうけて新しい鉱物に変成し結晶片岩となっていた。それが造山運動によって変形し、さらに隆起して山となり、上部から浸食されていった。現在、中国帯に分布している結晶片岩は、北九州の三郡^{さんぐん}山の名をとって三郡変成岩とよばれている（中国帯を三郡変成帯とよぶこともある）。

この隆起は、二疊紀末には舞鶴地帯全域に及んでいた。それは各地での二疊系と三疊系の間の不整合によく示されている。

二疊紀～三疊紀間の不整合がもっともよく示されているのは、兵庫県養父郡大屋町御祓^{みはらい}山である。ここでは、褶曲した上部二疊系舞鶴層群が削られた上に、下部三疊系が不整合におおっている。この地層は、基底礫岩にはじまり、砂岩・粘板岩の互層がさらに上につづいている。御祓山では礫岩はあまり多くないが、同じ時代の地層でも地域によって礫岩層が多いこともあり、変化はいちじるしい。その状況を中沢ほか（1957）によって示すと、図3のように西北側に礫岩層が多く、南東側にむかって細粒となる。この傾向は、舞鶴地帯全域を通じてみとめられる。こうしたことから舞鶴地帯の西北側の中国帯は、すでに三疊紀はじめには隆起地域であり、上昇

図3・A - 三疊紀前期の中国帯・舞鶴帯・丹波帯の古地質断面模式図



しつづつあったということがわかる。また隆起する中国帯と、むしろ沈降しつづつあった丹波地帯との境界をなす舞鶴地帯では、二疊紀末に、花こう岩をはじめとするさまざまな深成岩類の上昇・貫入があった。これらの深成岩は、その結晶粒の性状から激しい圧力条件下での貫入を示しており、いわゆる造山時貫入岩であったことがわかる。

同様の岩石は、西南日本内帯では東西につらなり、中国帯の各地のほか、飛騨外縁構造帯にそう船津花こう岩も同じ時期のものである。また西南日本外帯では、秩父帯のなかの黒瀬川構造帯にそって点々と分布する三滝火成岩類も、この時期に再活動したものである。

これら造山時貫入岩類とされているものは、いずれも複雑な組成をもつ場合が多く、あるものは、本州地向斜の基盤をなしていた、より古い時期（4億年以上前）の花こう岩類が、本州造山運動に際して再活動し貫入してきたものと考えられている。いずれにせよ、これら造山時貫入岩類とされるものが、構造帯にそって内帯と外帯にわかれて分布することは注目値する。

中生代の石炭層と浅海

石炭層というと、石炭紀のシダ植物という知識が広まっているが、じつはそのほかの時代のものも多い。隣国の中国の石炭の多くは二疊紀のものであるし、日本の石炭は、そのほとんどが古第三紀のものである。石炭層の形成は、造山運動とむすびついていて、ヨーロッパや北米の

ものは、古生代後半のバリスカン造山運動で形成された陸地をふちどる沼沢地に、シダ植物が埋もれてつくられたものであるし、日本のものは、日高造山にみられるように、新生代はじめのアルプス造山運動と一連のものと理解されている。

本州造山運動においても、隆起した中国帯の陸地をふちどって、石炭層をつくるような盆地が出現した。この石炭層は、量としては少なく、日本では無視されがちであるが、日本列島の形成史を語る上ではたいへん貴重な位置を占めている。中国帯では、西の山口県大嶺と岡山県成羽の地域に、この時代の石炭層があり、さらに東では、京都府舞鶴の周辺にも分布している（図4）。このうち舞鶴の志高のものは、三疊紀初期のものと考えられている。つまり御坂山のところでのべた下部三疊系の岩相のうち、もっとも西北側の陸に近いところにあたる。また大嶺や成羽の石炭は、三疊紀中期のもので、本州造山運動で形成された陸地がかなり浸食されたあとの盆地に出来たもので、二枚貝の化石を含む浅い内湾性の地層に互層をなしている。岡山県や山口県では、下部三疊系は分布しておらず、古生層（変成岩と非変成のものがある）の上に直接、上部三疊系が不整合におおっている。したがってこの地域では、二疊紀末以来ずっと陸域がつづいていたのか、あるいは下部三疊系は少しあったが、すぐ隆起して削られてしまったのかなのであろう。

これらの上部三疊系は、いずれも北西側の陸地から碎屑物質が供給されて出来上がったが、潟性のもや内湾性のもも多いから、北西側の陸のほかにも東南側にも小さな陸や島があって、海岸線は複雑になっていた様相がうかがえる。西南日本外帯でも、同じ時代の地層は、四国と九州の中央部に細長く東西に点在していて、いずれも北の陸地の前面の浅い海に形成された地層である。そして二疊系を不整合におおう場合があることから、内帯の場合と似た地史が推定される。

大陸の時代（ジュラ紀～白亜紀）

本州造山運動によって、地層の変形をうけ、変成作用と深成岩の貫入をうけた本州地向斜は、三疊紀にいくつかの小さな堆積盆地や残存した地向斜を残しながら、次第に縮小していき、ジュラ紀には広い地域が陸に転化していった。現在の西南日本本の大部分を占めるこの広い陸地は、当時アジア大陸とつながっていて、図6-Eにみるように山地として上昇をつづけた。

この山地の前面には、ジュラ紀後半から白亜紀のはじめにかけて浅い海がひろがり、暖い海流の洗う澄んだ海底に、石灰質の殻をもつ多くの生物が繁殖して珊瑚礁をつくっていた。それによって形成された石灰岩を鳥の巣石灰岩とよんでいる。このように新しく南に移った地向斜海では、海底火山活動を伴いながら、厚い地層を堆積させていた。それは三疊紀からひきつづいているが、さらにジュラ紀をへて白亜紀までつ

図3・B - 現在の舞鶴地帯断面図・夜久野地域の例

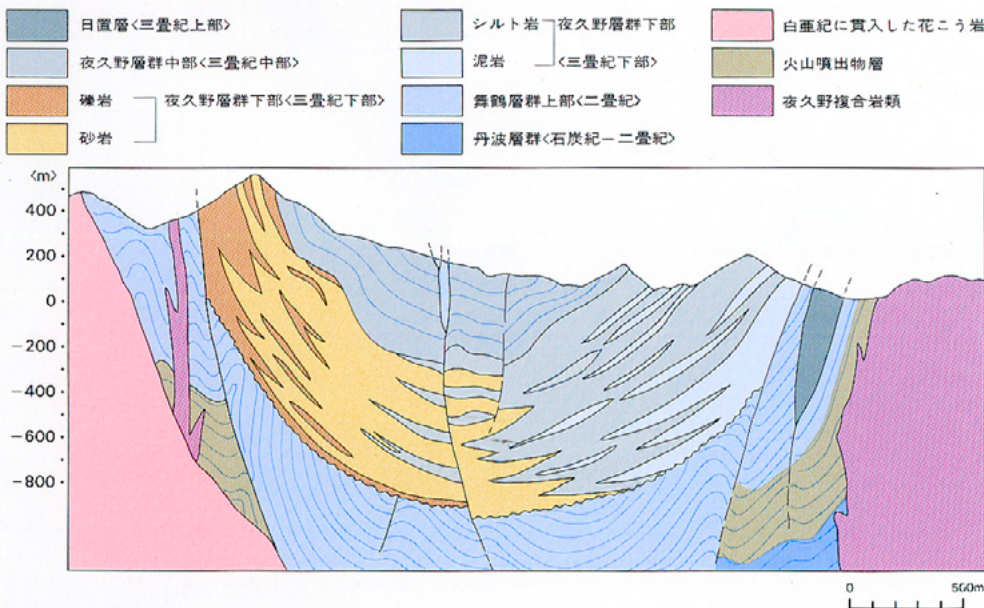


図4 - 西南日本中生代の石炭層の分布



づいて、四万十地向斜にひきつがれてゆく。
本州造山運動によって形成された山地が隆起を
つづける背後には、いくつかの沈降地域があっ
て、そこには、隆起する山地の浸食によって運
びこまれる大量の砂や礫が堆積した。この地域
は、湖であったり、また海水が入り混った汽水
の内湾であったりした。また北陸地方の来馬層
群は、海成層だが植物化石が多く、薄い石炭層
さえはさんでいる。当時、この地域は山麓で、

そこに中生代の裸子植物や羊歯植物の森林が繁
茂した姿を思いうかべることが出来るのである。
白亜紀に入ると、図 6-G・図 6-H にみるよう
にこの地域全体に激しい火山活動がくり返し起
った。この火山活動は、花こう岩の貫入を伴っ
ており、広島付近に広く分布する花こう岩の名
をとって、この変動全体を広島変動とよんでい
る。その一方で、南の地向斜海では、四万十地
向斜の沈降が激しくなっていく。日本列島は、

再びまた新しい活動期に入るのである。
本州地向斜にはじまる日本列島の歴史は、このよ
うに、いくつかの段階と地域差をはらんで彩り豊
かな物語となっている。この複雑さの中にひそむ
法則性は、現実に則した地道な調査によって、今
や見出されつつあるのである。

図 5 - 西南日本における本州区の構造区分

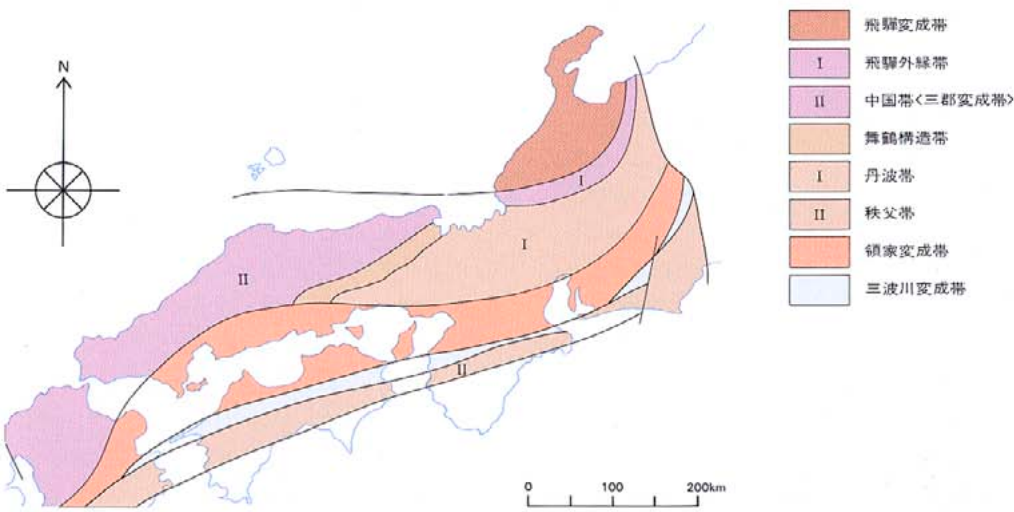


図 7 の凡例

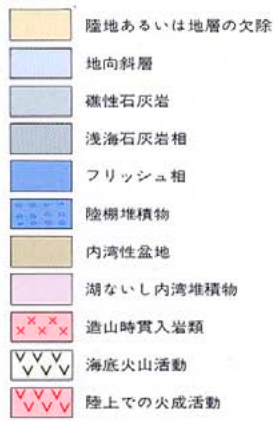


図 7 - 西南日本の地質構造発達史

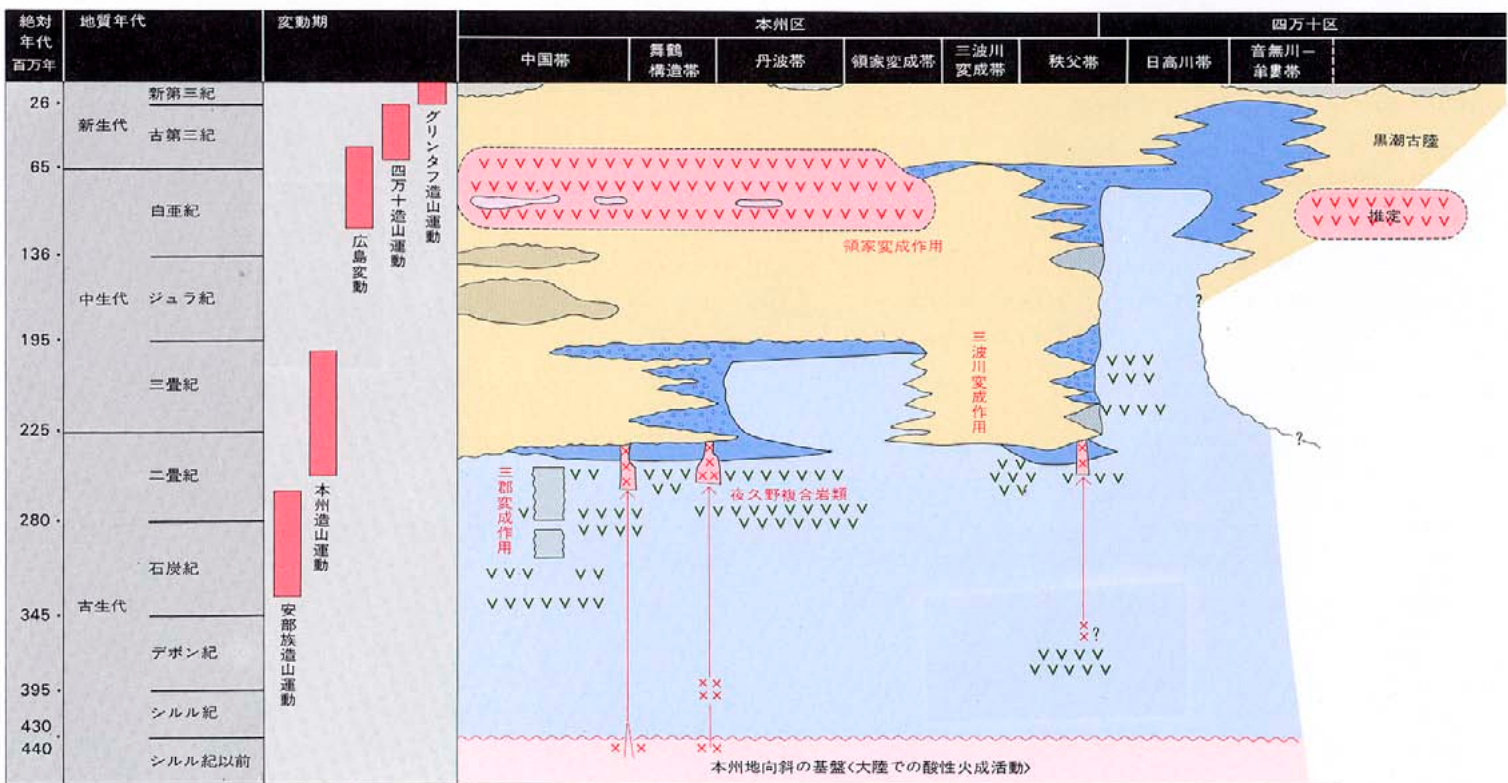


図6 - 古生代後期～中生代における西南日本の古地理図

