

日本列島の形成 その2

動く大地～日本各地の成り立ち～

ステップアップ講座

2025年2月27日

安武 弘幸



本日の内容

I 日本列島の大地形

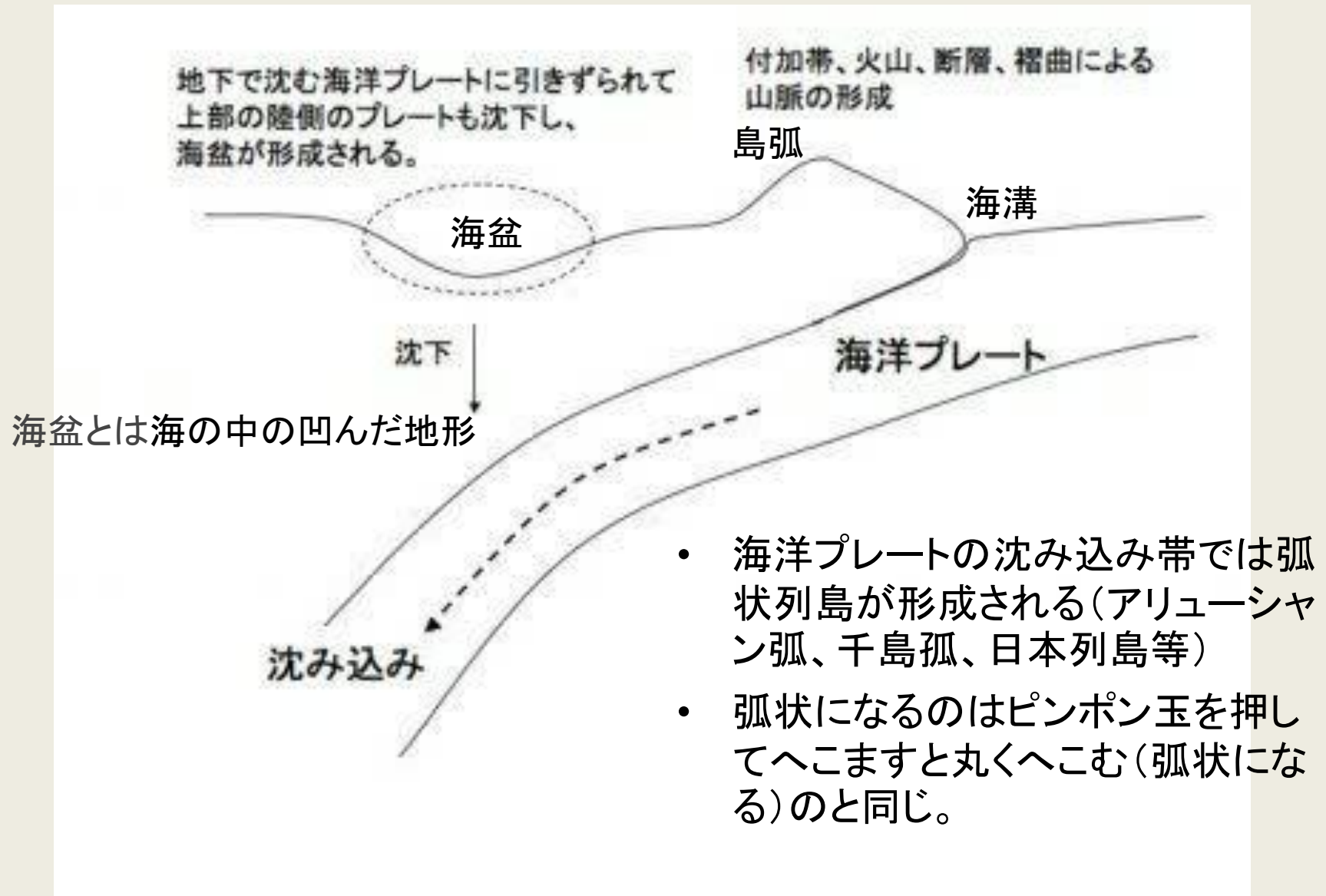
- ・ 縁海・島弧・海溝構造
- ・ 北海道
- ・ 東北
- ・ 関東
- ・ 中部
- ・ 近畿・中国・四国
- ・ 九州・沖縄

II 火山と地震

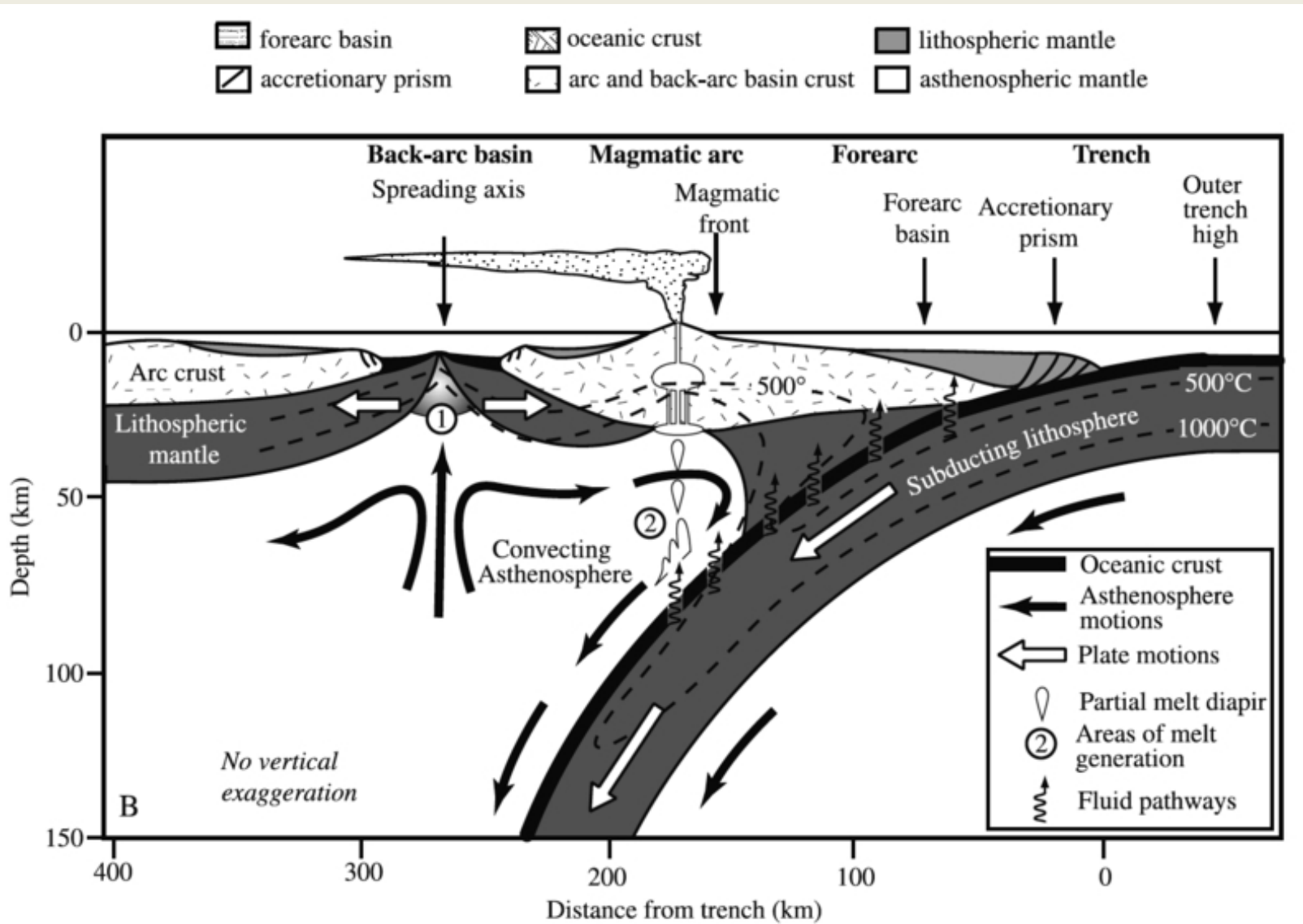
III 気候変動

次回 3月18日 日本各地の景勝地の成り立ち

日本列島の大地形～弧状列島、背弧海盆の成立



縁海・島弧・海溝構造




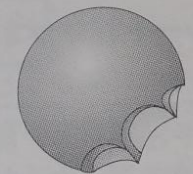
縁海・島弧・海溝構造

日本列島は5つの〔縁海・島弧・海溝〕構造が組み合わさって出来ている

縁海	島弧	海溝
千島海盆	千島弧	千島海溝
大和海盆	東北日本弧	日本海溝
四国海盆	伊豆・小笠原弧	伊豆・小笠原海溝
対馬海盆	西南日本弧	南海トラフ
沖縄トラフ	琉球弧	琉球海溝

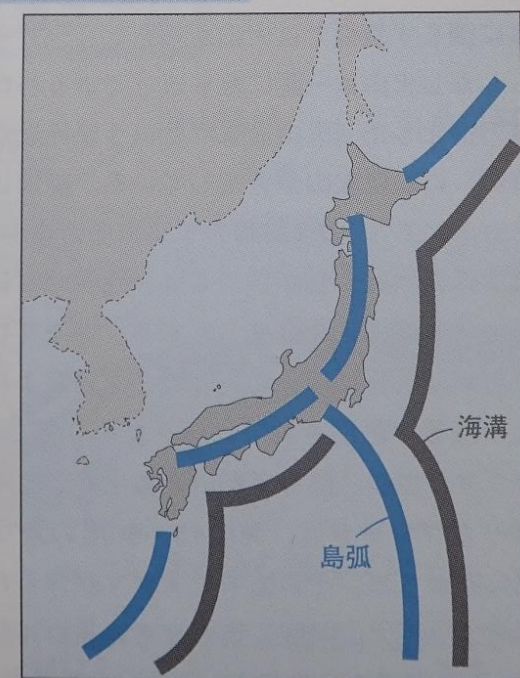
海溝に沿う弧状の列島





海洋プレートが沈み込むとき
ピンポン玉のへこみと似た形になる

隣り合う とうこ島弧と かいこう海溝

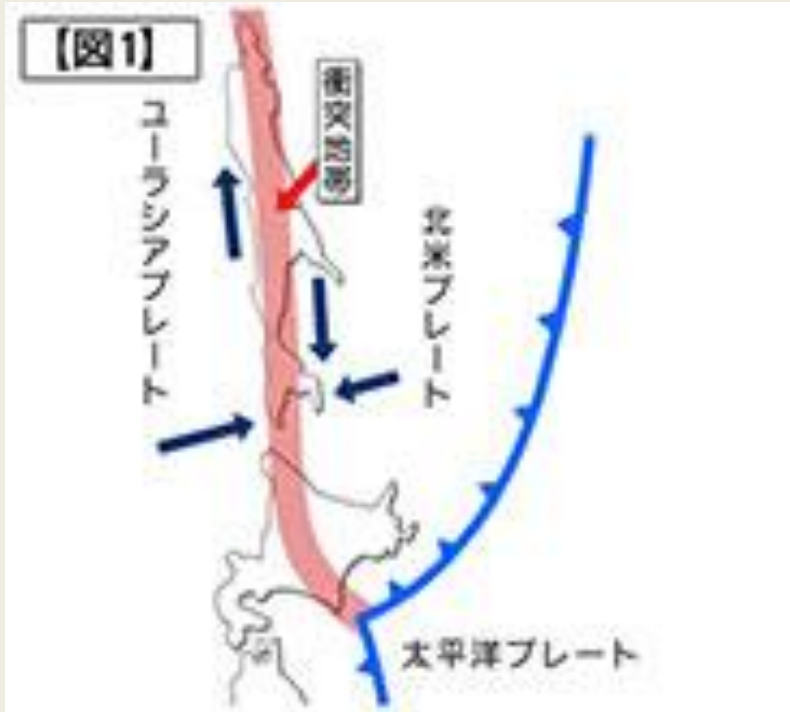


北海道の大地形

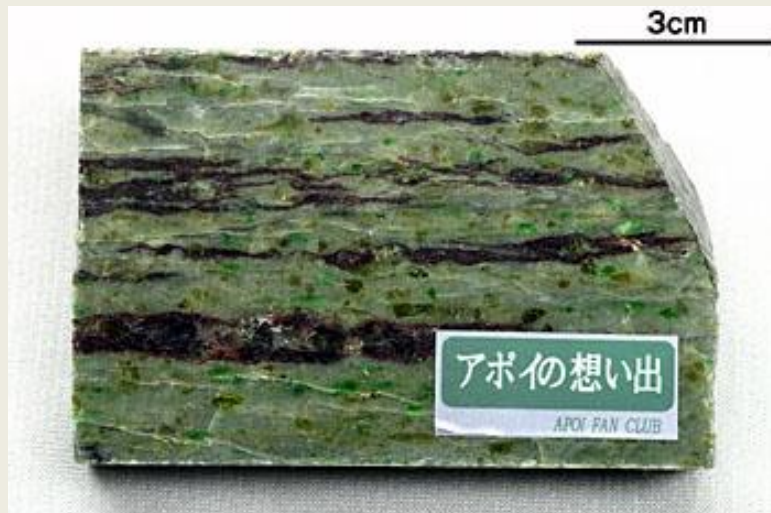
- 山地の南北方向への連なり
- 山地(火山列)の北東から南西方向への連なり
- 巨大噴火とカルデラ湖



北海道の大地形～日高・天塩山脈の形成



- 数千万年前頃、今の北海道周辺でユーラシアプレートと北米プレートの衝突が起こる
- **大陸同士の衝突**で、地殻は大きく盛り上がり(ヒマラヤ山脈のミニチュア版)、**天塩山脈、夕張山地、日高山脈の原型**が出来た
- 日高山脈南端の**アポイ岳**には、この時乗り上げた地殻であるカンラン岩が露出している。
- カンラン岩は、地球体積の82.3%を占める。地殻の下にあり普通は見られないが、マグマの噴出やプレートの衝突場所で地上に現れる事が有る。水と化学反応し蛇紋岩に変わる。
- アポイ岳のかんらん岩は変質せずにそのまま残っていることで学術的価値が高い。 7



北海道の大地形～火山列の雁行配列

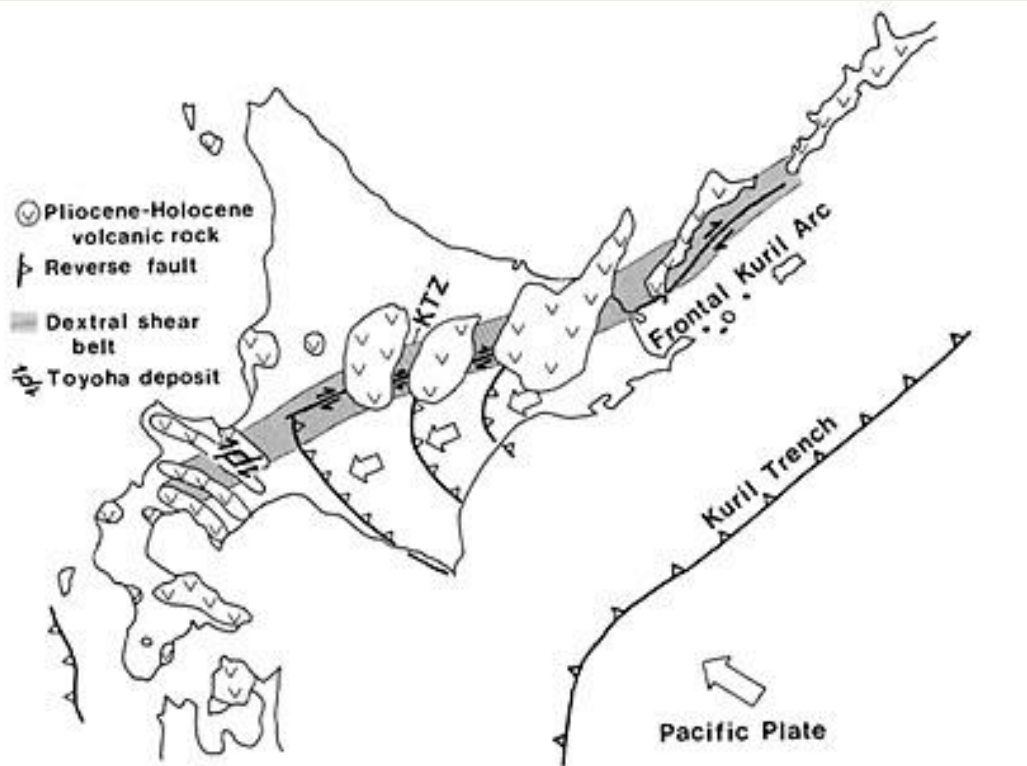


Fig. 8 Tectonic setting of the pull-apart vein system of the Toyoha deposit, KTZ: Kamishiyubetsu Tectonic Zone.

- 知床半島の硫黄岳，羅臼岳から斜里岳，屈斜路・摩周カルデラの火山群を経て，阿寒火山群に至る北東-南西方向に延びた火山列が総延長140kmにわたって連なっており、**阿寒知床火山列**と呼ばれる。
- この火山列の東側には，**国後島や択捉島の火山列**がある
- また，西側には**大雪山や十勝岳の火山列**があり、これらの火山列は**雁行状に配列**している

北海道の大地形～火山列の雁行配列

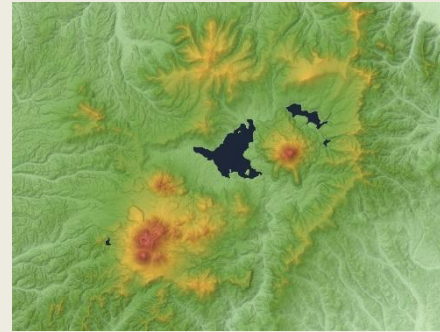


- 雁行状の配列は、北海道の南西沖約200kmにある千島海溝に対して、太平洋プレートがまっすぐではなく西側に約30度斜めに沈み込んでいることが原因になっている
- 斜め沈み込みによって、沈み込まれた側のプレートの前面の領域(根釧原野や十勝平野のある地域=千島前弧)は今でも西南西方向に引きずられている
- その引きずりの影響で雁行状に割れ目ができ、そこに火山ができたと考えられる

カルデラ湖



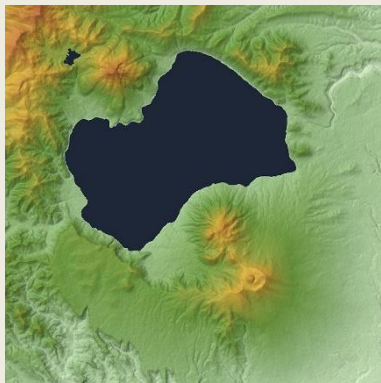
摩周湖(右)
7000年前に
大規模噴火



東側の小さな湖は、
パンケトー、ペンケ
トー、かつては阿寒
湖と一つの湖だった

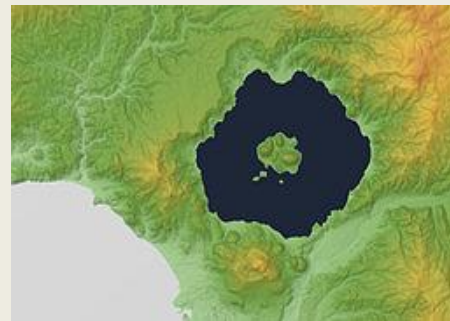
屈斜路湖(左)
日本最大のカルデラ
釧路川の水源地

阿寒湖、雄阿寒岳、雌阿寒岳
阿寒湖は雄阿寒岳に埋め立てられている



支笏湖

北側には恵庭岳、南側には風
不死岳(ふっふしだけ)・樽前山
の支笏三山が並ぶ
非常に深い湖で面積は琵琶湖
の1/9だが、貯水量は3/4有る



洞爺湖、昭和新山、有珠山

洞爺湖火山灰(11
万年前)と阿蘇4テ
フラ(9万年前)



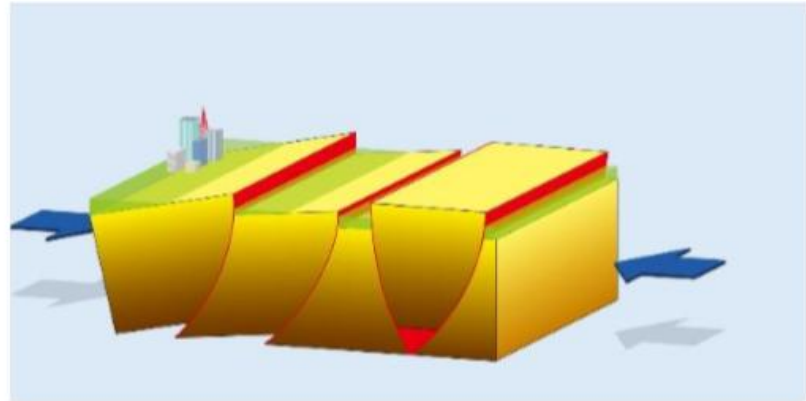
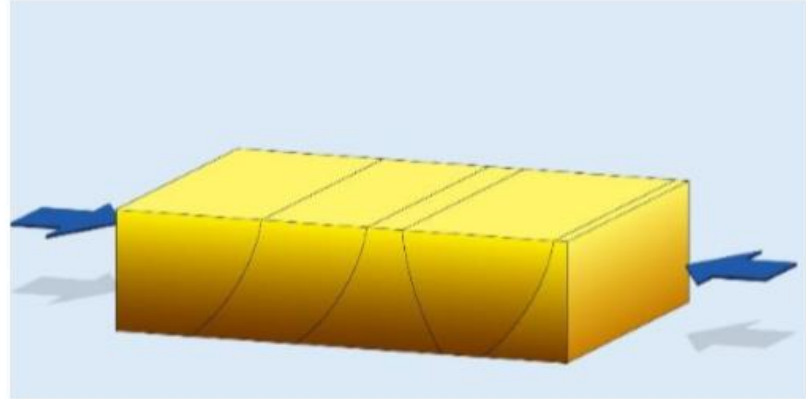
東北地方の大地形

- 太平洋プレートからの西向き圧力
- 日本海の沈み込による東向き圧力
- その結果しわが寄るように、南北に山地と低地が繰り返し連なる地形となった



圧縮力による地殻の隆起

- 東北日本は**南北方向の逆断層**が活動することで隆起山地と内陸盆地が繰り返している
- 東西の圧縮力による逆断層の活動が無ければ、地形は100万年もすれば浸食と堆積によって平坦化する
- 地形的に起伏が存続するためには地殻変動が継続していることが必要



東北地方の大地形

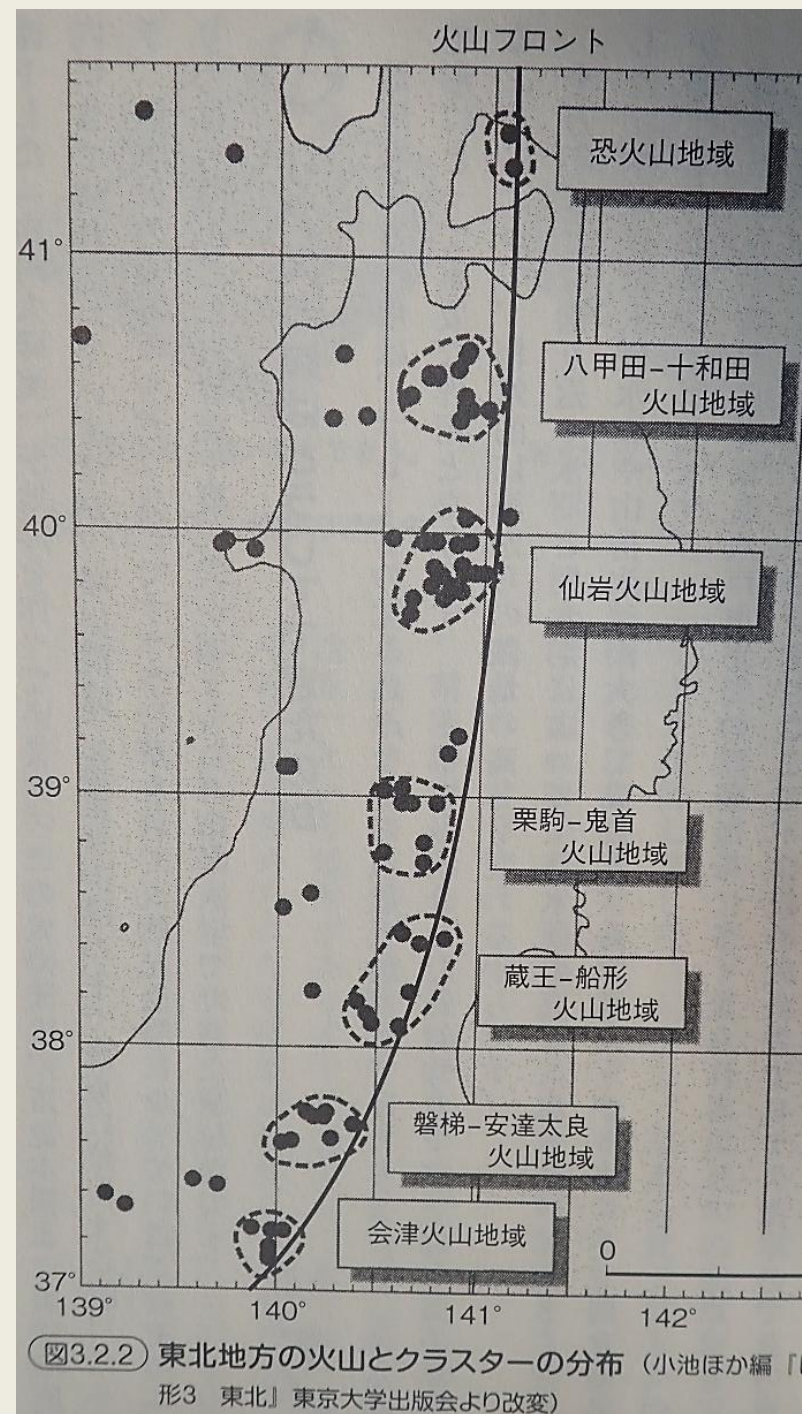
南北に連なる山地と低地が列をなしている

- 北上山地、阿武隈山地
- 北上川、仙台平野、福島盆地、郡山盆地
- 八甲田山、奥羽山脈、蔵王、安達太良
- 岩木平野、横手盆地、山形盆地、米沢盆地、会津盆地
- 白神山地、出羽山地、鳥海山、月山、朝日連峰、飯豊山地



東北地方

- 東北の火山は、**隆起した基盤岩の上に数百メートル溶岩が積もってできている**
- 火山フロントは奥羽山脈と、さらに西側に海岸線に連なる火山(岩木山、鳥海山、月山など)の2列が有る
- これはマグマが生成しやすい地下深度は、150Km付近と170Km付近の2箇所あるため
- その間に幾つかの盆地が連なっている



関東の大地形

- フィリピン海プレートの沈み込みに引きずられた**沈降帯**
- 周囲の山からの**土砂と多くの火山灰が堆積**している。**厚さは中央部で3000m**にも及ぶ
- 海水面の上下により**海になったり陸になったり**している

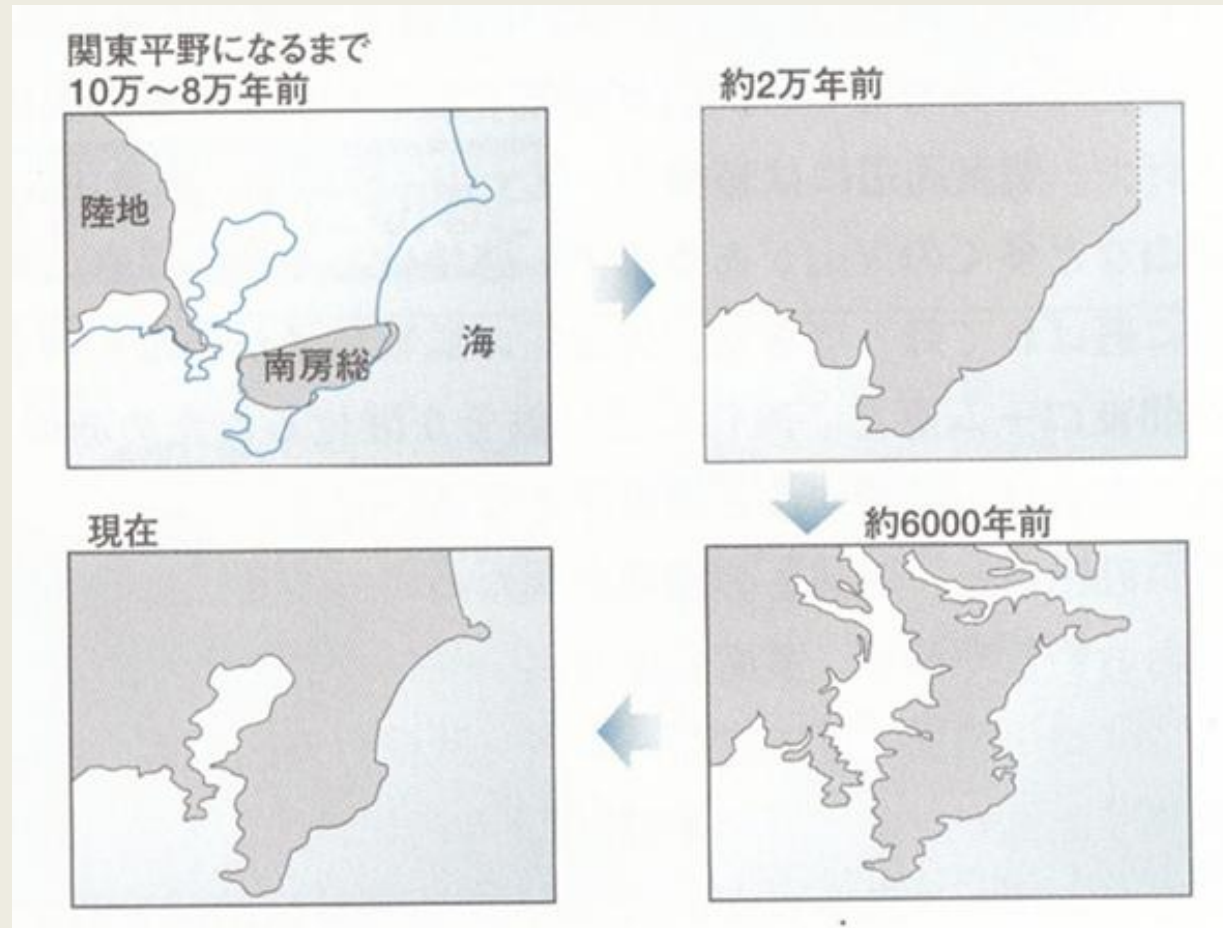


関東平野～沈降帯と堆積作用、海面水準の変化～

- 関東平野は中央部は沈降帯で周辺部は隆起する「関東造盆地運動」という地殻変動を受けている
- フィリピン海プレートが本州に衝突して、付加体を押し付けている所(前弧リッジ)が南房総や三浦半島
- プレートの沈み込みにより上部が引っ張られ沈むところ(前弧海盆)に当たるのが関東平野
- その沈んだ所を利根川、荒川、多摩川などの大きな河川が周囲の山を侵食して運んできた土砂が埋めて広い平野を作った
- 埼玉県行田市では5-7世紀の古墳が田んぼの下で見つかっている。当初は古墳は高台の上に作られたと考えられるが、1400年の間に沈降し沖積層に埋もれてしまった。
- 第四期(260万年前から)のもっとも古い地層は地下1000m以下のところにある。中央部での沈降と堆積、周辺部での隆起と浸食という作用は、第四紀の間ずっと続いてきた

関東平野

- 関東平野は沈降帯で平坦な低地であるため、海水準の上下が地形に大きな影響を及ぼしている
- 海水準の変化は気候変動によってもたらされる
- 10万年～8万年前の間氷期にはほぼ全域が海に浸かった。そこに河川からの土砂が大量に堆積した
- 2万年前には殆どが陸化して、河川が谷を刻み、多くの礫層が形成された。
- 縄文海進では内陸まで海が入り込んだ。



関東ロームとテフラ

関東ローム層の断面

始良テフラ(2万9000年前)

赤城・鹿沼テフラ(4万4千年前)

大山・倉吉テフラ(6万2千年前)

箱根東京テフラ(6万6千年前)

テフラとは火山灰・軽石・スコリアなどの総称。火山碎屑物とほぼ同義



中部地方の大地形

- 丹沢・伊豆半島の衝突
- 日本アルプスの隆起
- フォサマグナ帯の多くの火山

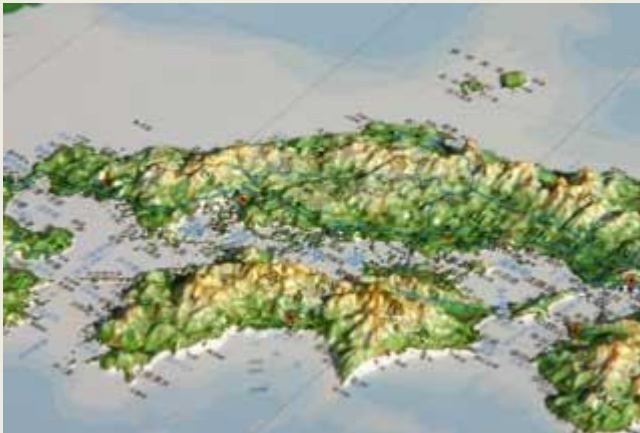


伊豆半島の衝突



近畿、中国、四国の大地形

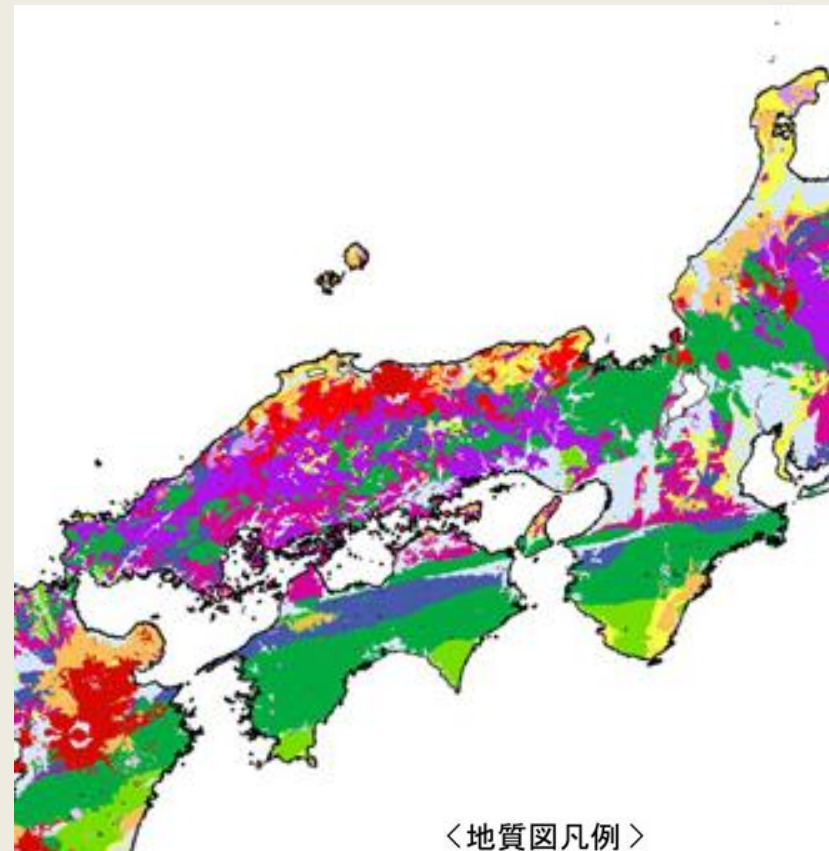
- 中央構造線の北側と南側で異なる地質
- フィリピン海プレートの斜め沈み込みにより、シワが寄った(高地と低地が繰り返す)地形



西日本の地質

中央構造線の南北で異なる地質

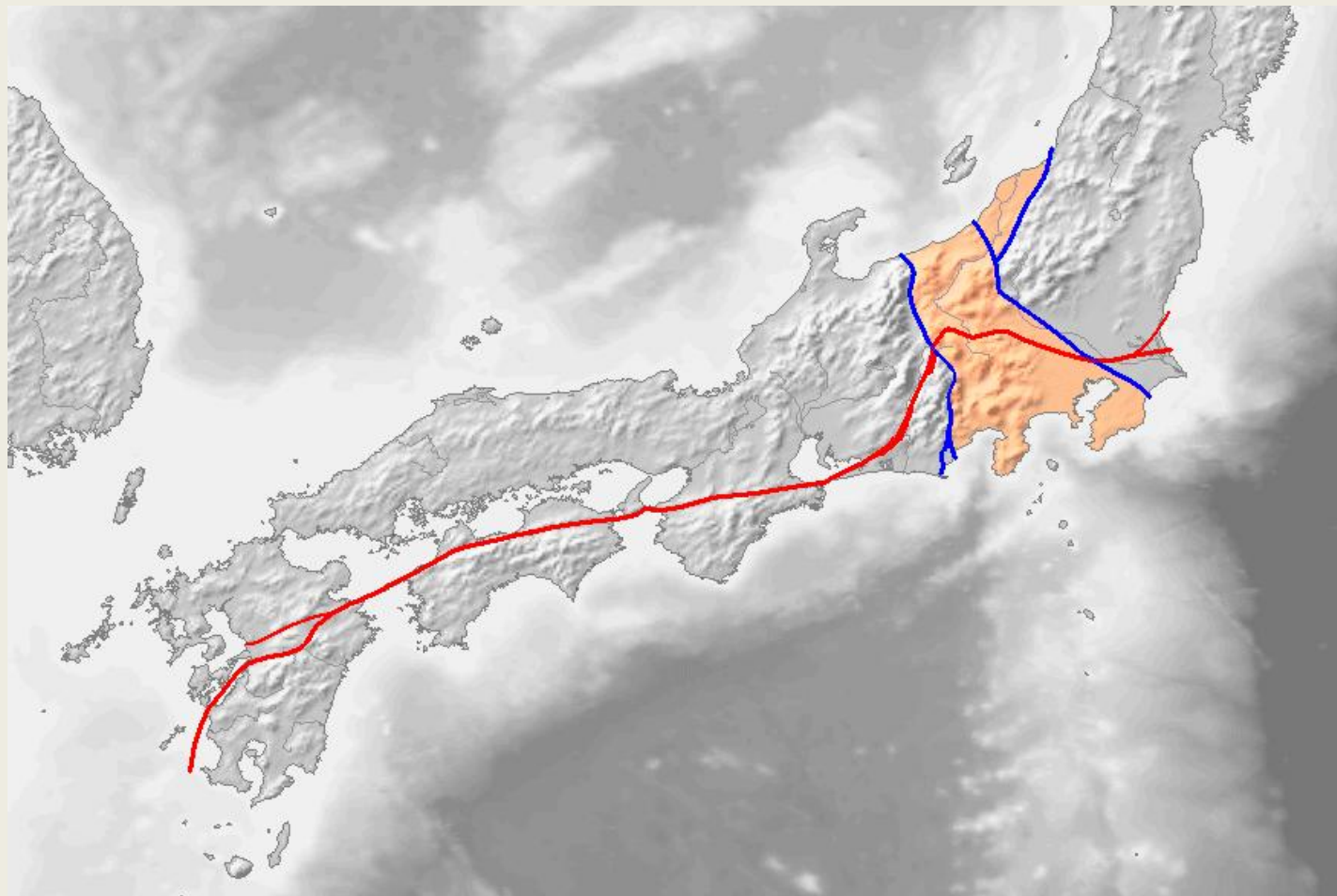
- 北側は花崗岩、これは日本列島が大陸の縁に在った一億年以上前頃の火山活動によって出来た花崗岩が隆起したもの(花崗岩は軽いため隆起する)
- 南側は付加体が縞状に発達した様子を示している
- 紀伊半島に在る火成岩は、1400万年前頃できたもの。当時四国海盆は拡大中で、出来たてで非常に熱い海洋地殻だったが、そこに日本海の拡大によって押されてきた西日本が乗り上げる形になった。
- その為東海から九州に至る地域で大量のマグマが生成され、各地で巨大カルデラ噴火が起こった。また地下には大量のマグマが残り、花崗岩となった。この火山活動の名残が古座川の一枚岩、大崩山、屋久島などになっている。



〈地質図凡例〉

		堆積岩類	火山岩類	深成岩類	変成岩類
新生代	第四紀	浅藍色	赤色	白色	白色
	新第三紀	黄色	オレンジ色	淡紫色	白色
	古第三紀	緑色	紫色	赤色	淡藍色
中生代		緑色	紫色	赤色	淡藍色
		緑色	白色	赤色	淡藍色
古生代		緑色	白色	赤色	淡藍色
		緑色	白色	赤色	淡藍色

中央構造線



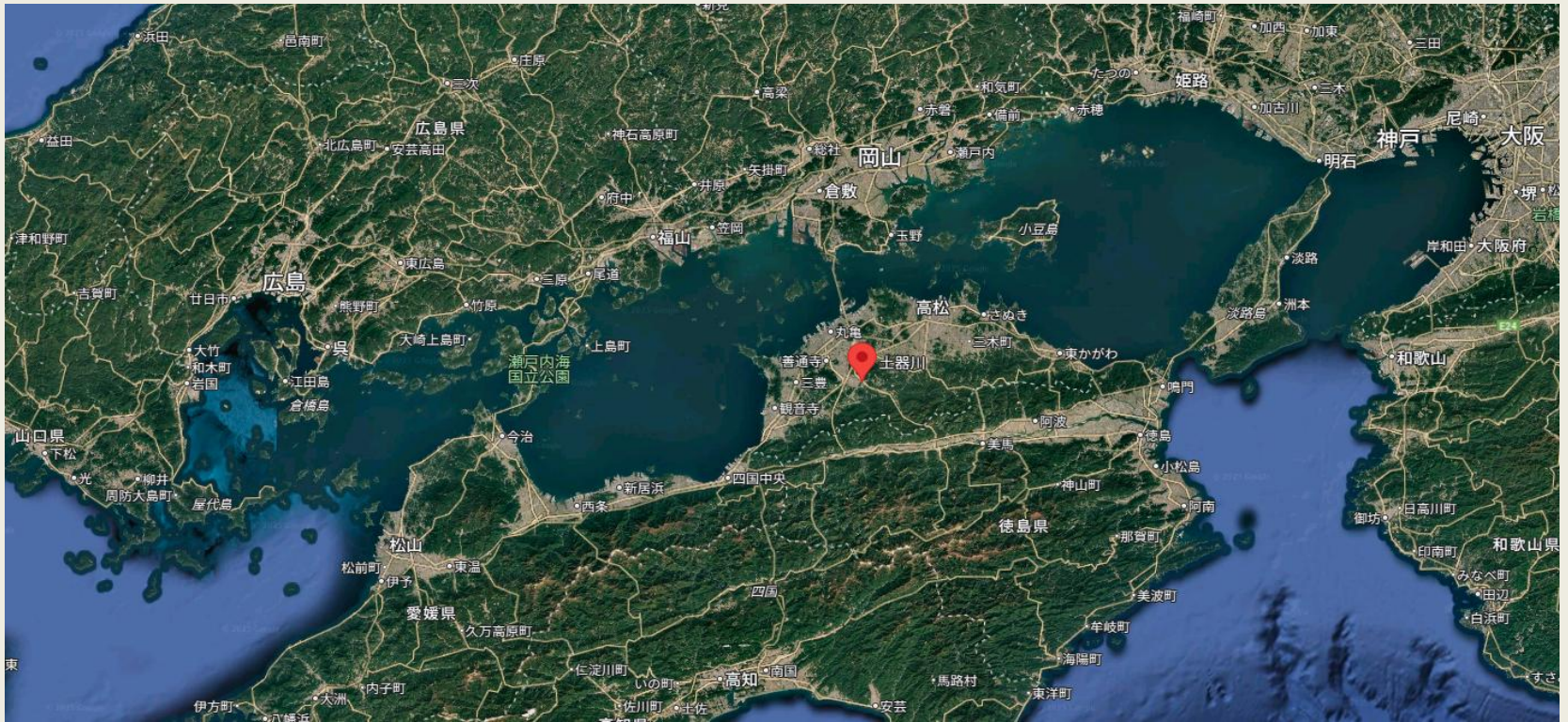
シワ地形

フィリピン海プレートの斜め沈み込みにより、シワが寄った(高地と低地が繰り返す)地形



シワ地形

フィリピン海プレートの斜め沈み込みにより、シワが寄った(高地と低地が繰り返す)地形
瀬戸内海にもシワ地形が有る



安芸灘

燧灘

播磨灘

大阪湾

芸予諸島

備讃瀬戸

淡路島

太平洋側のシワ地形

岬と灘（海盆）の繰り返し

- ・御前崎
- ・遠州灘
- ・志摩半島
- ・熊野灘
- ・潮岬
- ・室戸海盆
- ・室戸岬
- ・土佐海盆
- ・足摺岬
- ・日向海盆

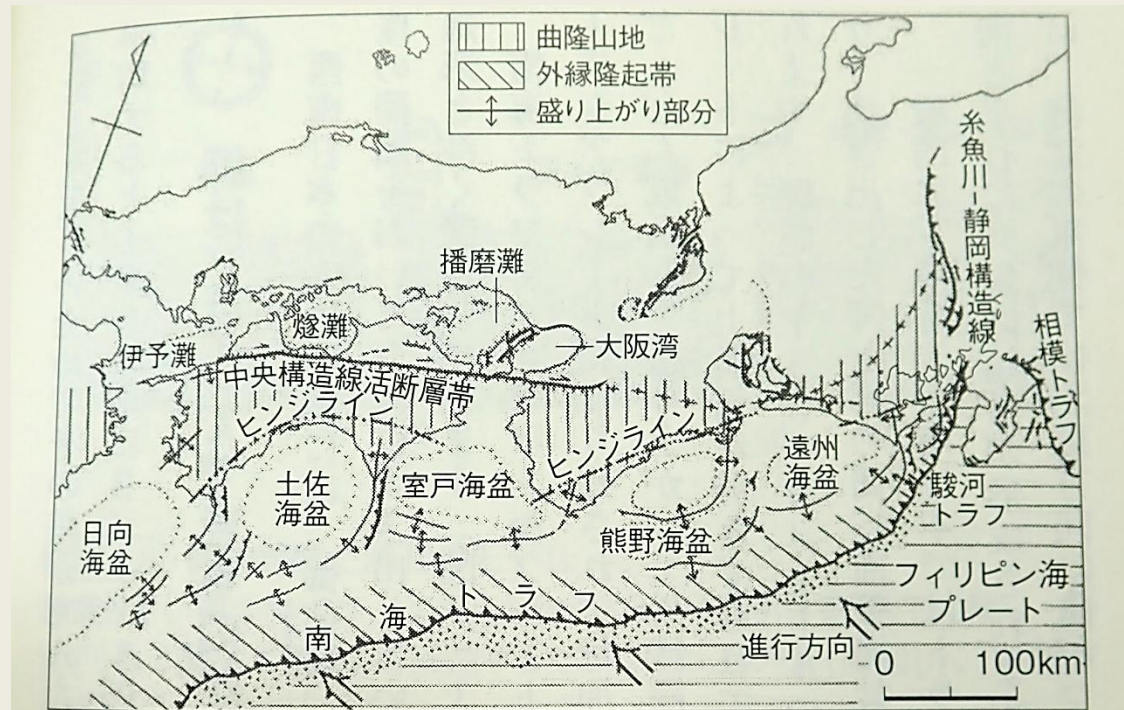


図7.1.7 西南日本の構造図（太田ほか編『日本の地形6 近畿・中国・四国』東京大学出版会より改変）

プレートが沈み込む南海トラフより内陸側にできる海盆を区切るように岬が海側に突き出ている。西南日本における岬の形成位置はプレートの斜め沈み込みと関係している。

九州・沖縄の大地形

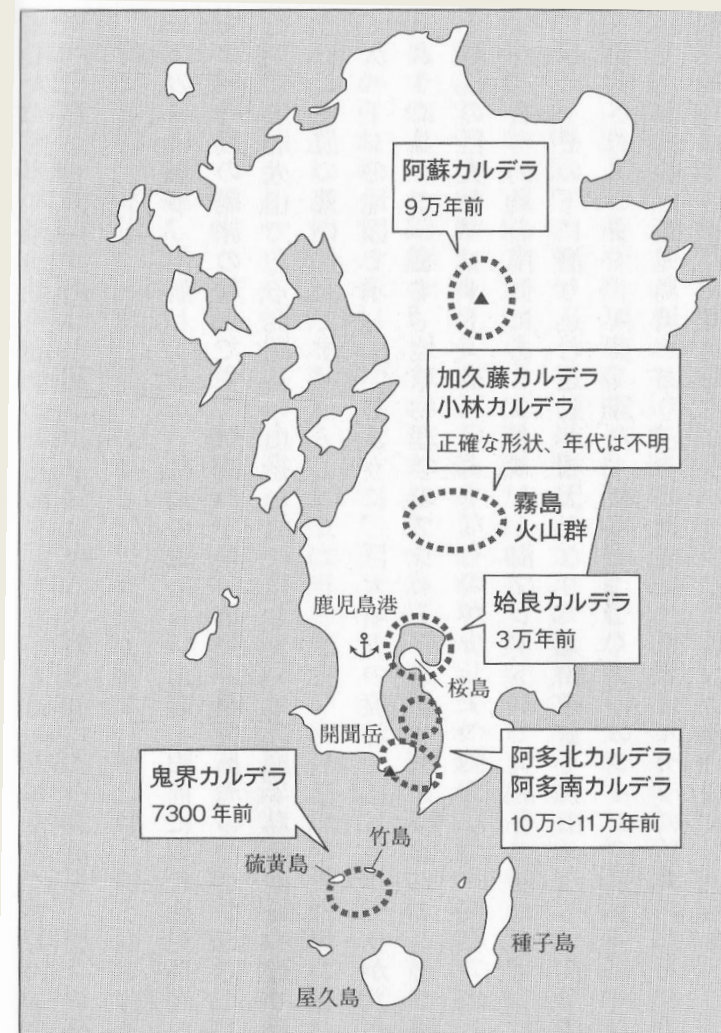
- 南北に連なる巨大カルデラ
- 沖縄トラフから続く日本で唯一のリフトバレー(地殻の裂け目)



南北に連なる巨大カルデラ群

日本中に火山灰を降らせた超巨大噴火によるカルデラが九州には6つも有る。

100万年前から始まった巨大カルデラ噴火は、
フィリピン海プレートの沈み込みがもたらす引っ張り力による



九州を南北に貫くようにカルデラが並ぶ
(点線の円形はカルデラの外輪山。年数はカルデラを出現させた巨大噴火の発生時)

沖縄トラフと九州の分裂

- 九州には東西に走る地溝帯（地殻の分裂に寄って出来る谷）が有る
- 谷は年間1.4cmの速さで拡大している
- 百万年単位で見れば、九州は南北に分裂すると予想されている
- 別府湾にかつて、南蛮貿易で栄えた瓜生（うりゅう）島があったという。だが1596年、大地震と津波で一夜にして沈んだ

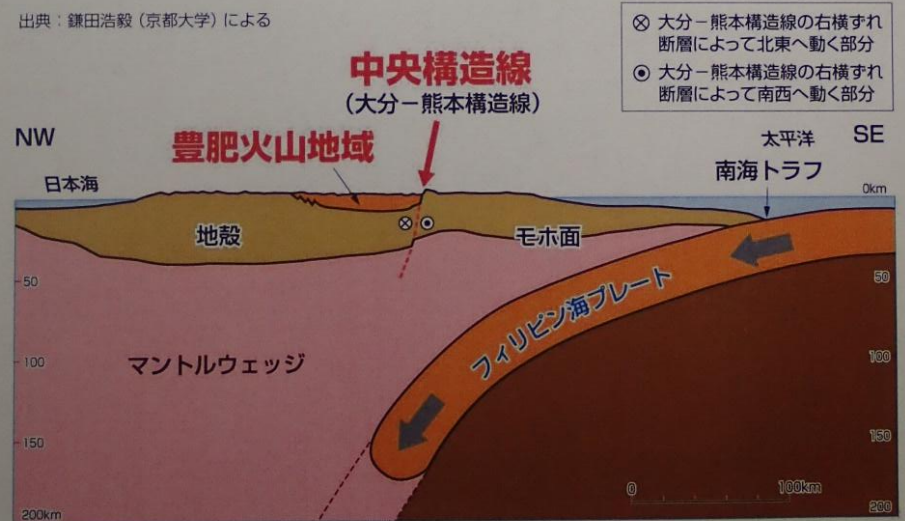
【資料6】

ウェブ用 図2



ウェブ用 図3

出典：鎌田浩毅（京都大学）による



沖縄トラフと九州の分裂

- 沖縄トラフは急角度で沈み込むフィリピン海プレートにより引っ張られ、海底が拡大し、そこにマグマが上昇しつつある
- フィリピン海プレートはホットスポットの上昇にともなうマントル流に押されて急角度で沈み込んでいる
- この引っ張る力は九州にまで繋がっており、巨大カルデラ噴火を引き起こすと共に、将来九州を南北に分裂させる力となっている
- かつての日本海の拡大と同様なことが現在沖縄トラフで起きている。



日本列島の大地形 まとめ

北海道	太平洋プレートの沈込みで火山列が東北東から西南西に雁行に並ぶ 巨大カルデラがいくつも有る
東北	太平洋プレートの沈込みで、南北方向にしわが寄り、山地、低地が繰り返し 現れる。その基盤の上に多くの火山が有る。 海水準の変化により出来たリアス式海岸が発達
関東	フィリピン海プレートの沈込みに引張られ、関東平野は中心部が沈降帯に なっており、そこを周辺の山からの土砂と火山灰が埋めたてて広い平野に なった
中部	伊豆・小笠原弧の衝突により南アルプスと中央アルプスが隆起 太平洋プレートからの圧縮力と花崗岩の浮力により北アルプスが隆起 フォッサマグナの中に多くの火山列が並ぶ
近畿・中国・四国	フィリピン海プレートの斜め沈み込みと中央構造線を境にしたズレで地形が 形成されている 南側では南東から北西方向に岬と海盆が交互に現れる 北側では東北東から南南西方向に低地と山地、或は灘と瀬戸が交互に現 れる。海水準の変化により瀬戸内海が出来た
九州・沖縄	巨大カルデラがいくつも有る 中央構造線から沖縄トラフへと続く地溝帯、火山の噴出物とその谷を埋め た。南側には引っ張り力が働いていて、数十万年単位で見れば九州は南 北に分裂するか

休憩



アポイアズマギク(アポイ岳固有種)

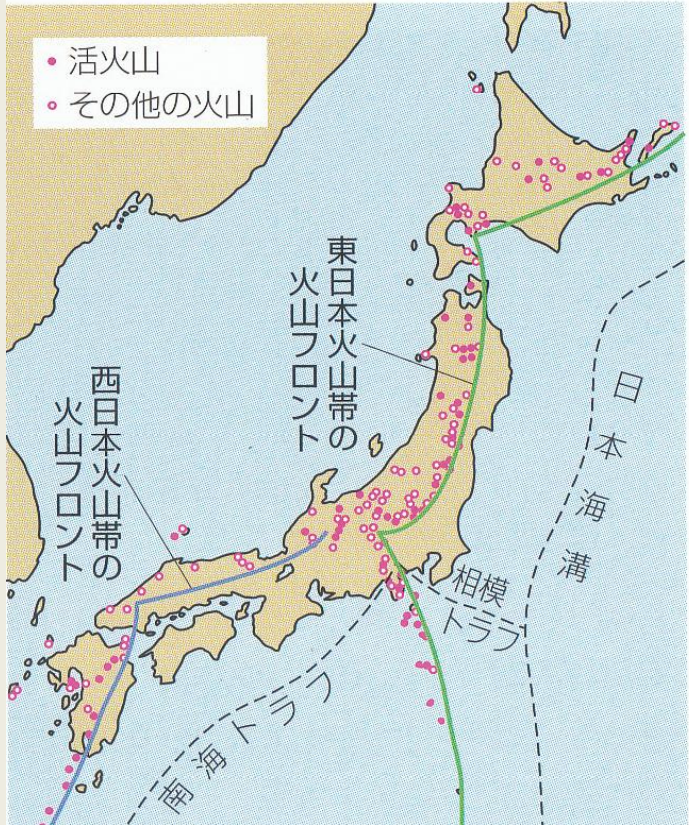


襟裳岬
(日高山脈が太平洋に直接突き出している)

火山～日本列島を形作ったもう一つの主役

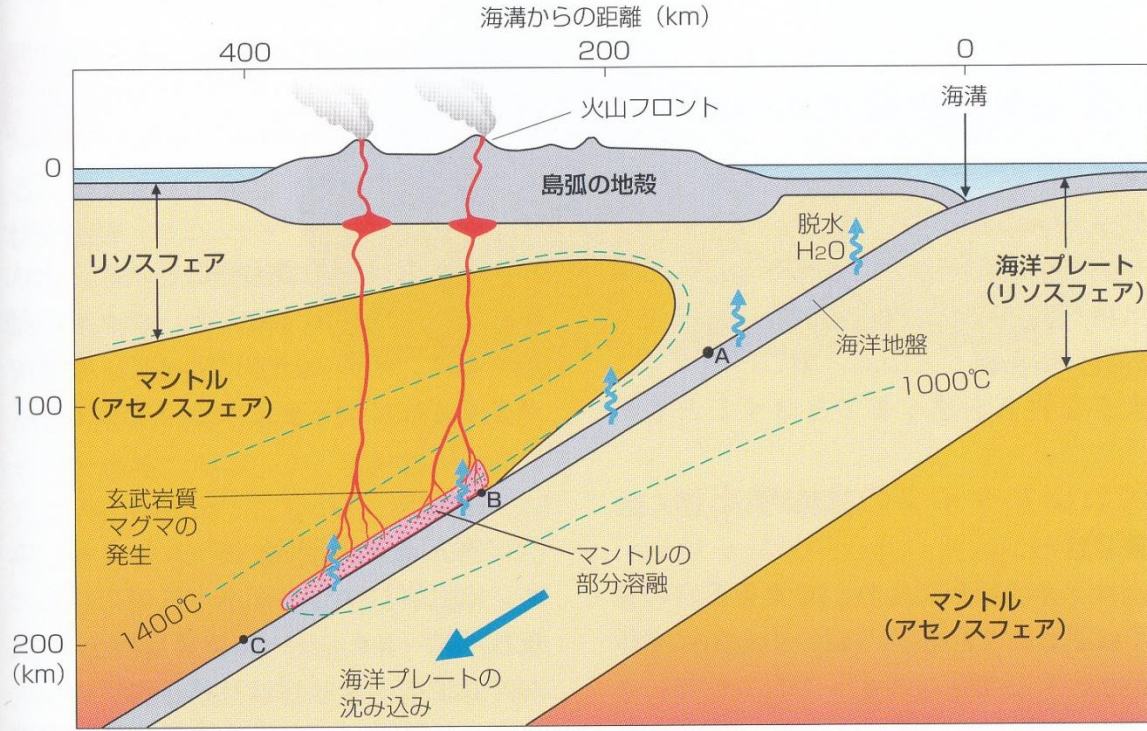
3-13 火山フロント

火山フロントは、ほぼ海溝に平行に位置している。



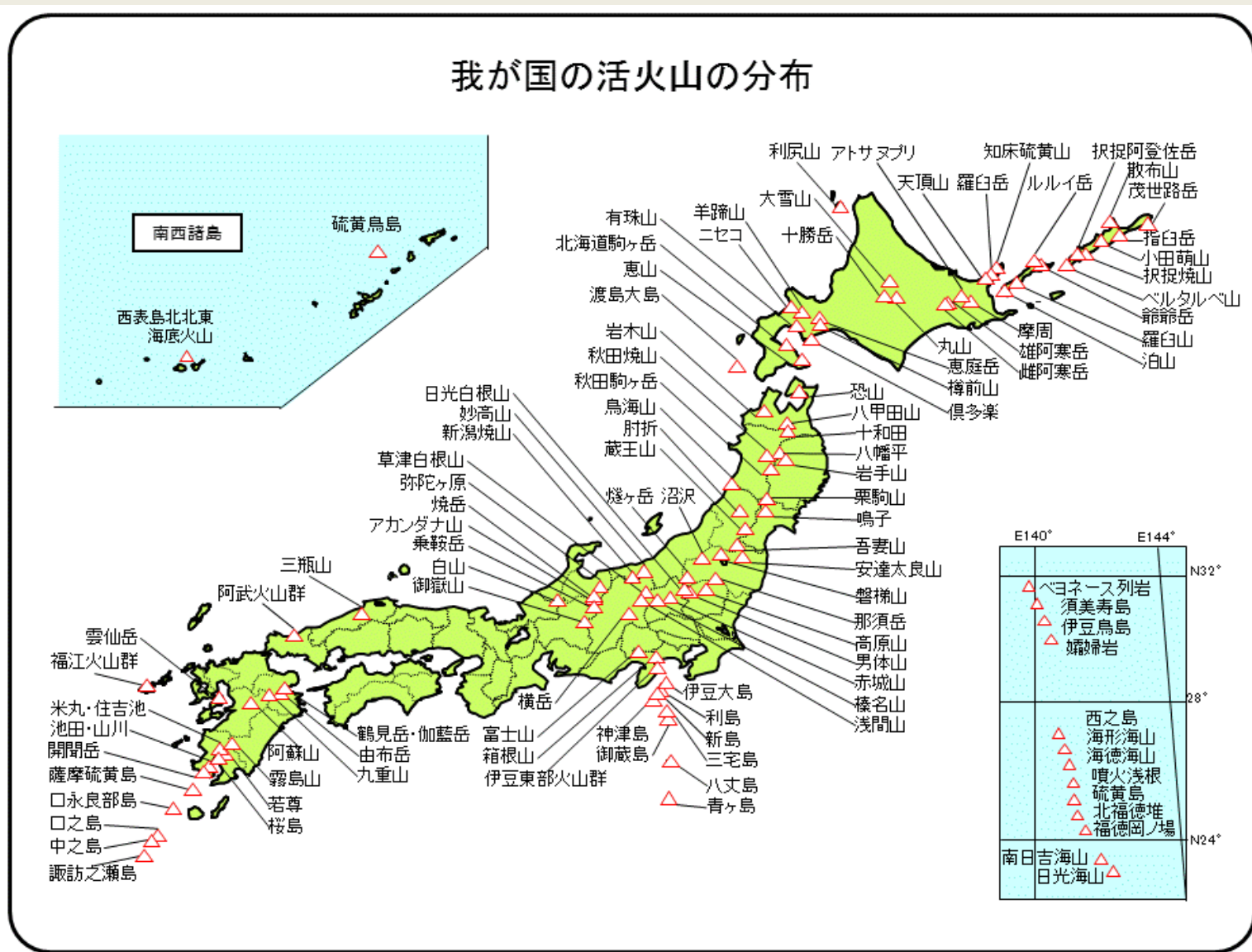
3-11 沈み込み帯のマグマ活動

海洋地殻から出た水がマントルに加わることでマントルが溶け、マグマが発生する。



火山帯は海溝から一定の距離を置いて存在する。これは水分を含んだプレートが海溝で潜り込み始め、地下100Km～200Km位の所で溶けてマグマが発生し、浮力を得て上昇し火山となるためである。

日本の火山



- 日本には世界の15%の火山が集中、過去2000年以内に活動した火山は86ある。
- 活火山とは概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山で現在111有る。
- そのうち50については24時間体制で、常時観測・監視対象に指定している

超巨大噴火

- 現在の日本の火山は、**細い火道を通してマグマが上昇**してくる。これは圧縮帯における火山の形
- 一方**地殻を引き延ばす力が働くところにはカルデラ噴火が起きやすい**。引き延ばされて薄くなった地殻の下にマグマが上昇してくる。アフリカ地溝帯やアイスランドの火山と同じ仕組み。
- カルデラとはマグマの抜け殻火口と同じものだが、火口は直径が2Km以下の物を言い、カルデラはそれ以上の物を言う。
- **カルデラ噴火の噴出量は桁違いに大きく、火砕流や火山灰により大災害をもたらす**。また数年以上にわたり**気候を寒冷化させる(火山の冬)**ため、全地球規模で農業に大被害が出る
- かつて日本では大規模なカルデラ噴火が沢山起きていた
超巨大噴火---噴出量100km³以上のもの
過去12万年で見ると日本では9回超巨大噴火が起きた。1万3000年に一回の割合箱根クラスの噴火(噴出量11 km³)を加えると15回、8000年に一度の頻度になる
- **最新の噴火は7300年前の喜界カルデラ噴火**
- カルデラを作った火山は北海道と九州に集中している

超巨大噴火

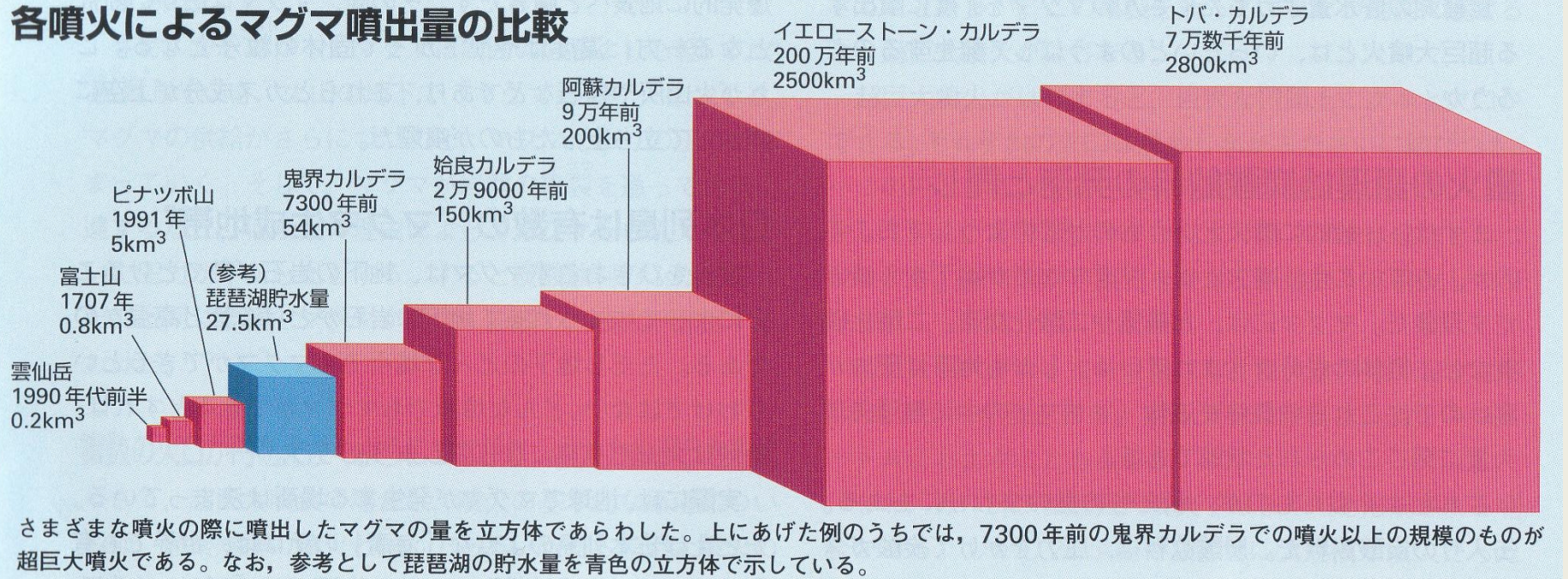
カルデラ名	カルデラの大きさ(Km)	噴出量(km ³)	噴火時期(年前)	現在の火山、溶岩ドーム	備考
屈斜路	26 × 20Km	100 数十 100	11万5000 8万5000 3万5000	アトサヌプリ	日本最大のカルデラ
摩周	6 × 8Km	11 1	7000 1000	カムイヌプリ	箱根に相当する噴火
支笏	直径12Km	300	4万	恵庭、風不死、樽前	石狩川流路が変わった
洞爺湖	直径10Km	200	11万	有珠山 昭和新山	
十和田	直径9Km	56 46 10 7	2万5000 1万5000 5400 10世紀初		
箱根	8 × 12Km	11	6万5000	駒ヶ岳、神山、大涌谷	東京軽石層を形成

超巨大噴火

カルデラ名	カルデラの大きさ(Km)	噴出量 (km ³)	噴火時期 (年前)	現在の火山、溶岩ドーム	備考
阿蘇	25 × 18	100超 100超 100超 600	27万 14万 12万 9万	中央火口丘 (中岳、米塚等)	カルデラ内に5万人が住む 日本最大の噴火
加久藤 小林	17 × 15 12 × 10	100超 ?	34万 52万	霧島火山群 新燃岳	カルデラ内にえびの市 カルデラ内に小林市
始良	24 × 20	450	2万9000	桜島	シラス台地を作った 錦江湾北部を構成
阿多南 阿多北	25 × 19 18 × 12	100超 300	24万 11万	開聞岳	海底カルデラ
鬼界	25 × 15	100	7300	薩摩硫黄島	海底カルデラ、 アカホヤ火山灰

世界の超巨大噴火

各噴火によるマグマ噴出量の比較



巨大噴火で噴出したマグマの量(立方キロメートル、噴出量をマグマの量に換算している)

- 富士山--- 0.8 東京ドーム600杯分、江戸で数センチの火山灰が積もった
- 箱根----- 5 6万年前、50Km離れた横浜市まで火砕流が到達
- 鬼界----- 54 鹿児島県南部を埋め尽くし、この後九州の縄文文化の痕跡が消えた。火山灰は「アカホヤ」と呼ばれ九州～東北の各地で見つかっている
- 始良-----150 九州南部を埋め尽くした。カルデラは現在の桜島を含む丸い海
- 阿蘇-----200 九州全域、山口県の一部まで火砕流が到達
- イエローストーンの地下には現在でも公園面積(四国の半分)に等しいマグマ溜まりがあり、数十万年以内に破局的な大爆発を起こす可能性が高い

富士山の体積と超巨大噴火の噴出量比較

裾野半径r0 [km]	標高z0[km]	体積[km ³]	標高z0[km]	体積[km ³]	
5	2.104	33	0.000	4697	
10	1.515	133	0.500	1450	
15	1.169	300	1.000	447	
20	0.925	534	1.516	133	(一合目)
25	0.735	835	1.500	138	
30	0.580	1202	2.000	42	
35	0.448	1637	2.220	25	(五合目)
40	0.335	2138	2.500	13	
45	0.235	2706	3.000	3	



本栖湖(標高900m)から見る富士山

高さ (その高さより上部の体積)	富士山の 体積(km ³)	カルデラ噴火の噴出量 (km ³)
2500m(5合目は2400m)	13	箱根(11)、摩周(11)、十和田(10,7)
1500m(1号目は1516m)	133	喜界(100)、屈斜路(100)、洞爺湖(200)
900m(上から約3/4の位置)	600	阿蘇4(600)、始良(450)、支笏(300)
500m(御殿場市は450m)	1450	イエローストーン(2500) トバ(2800)

富士山は過去**500km³の溶岩を噴出して形成された**と推定されている
 東京ドームの体積は、124万立方メートル、0.00124km³
 琵琶湖の貯水量は27.5km³

気候変動～火山の冬～

- 巨大噴火は**急速な寒冷化**をもたらす。噴火の**数か月後に始まり数年**は続く
- 大気中に細かいチリ(エアロゾル)をまき散らし、それが太陽光を反射してしまうため
- **1991年フィリピンのピナツボ火山が噴火した時は、1993年日本は記録的な冷夏**になり、コメ不足が起きた。この時の作況指数は74、青森や北海道の一部はゼロの所もあった。作況指数では不作は94、10年に一度の著しい不作で92とされる
- **1783年アイスランドのラキ火山が巨大噴火を起こした。ピナツボ噴火の6倍の規模。**噴出量は**15 km³**、6万年前の箱根火山噴火(同11 km³)よりは少し大きい。ヨーロッパでは1784年、85年に大寒波が襲い、死者続出。**数年連続で大飢饉**になり、1789年のフランス革命の原因にもなったと言われる
- 日本では**1782年から87年まで天候不順**が続き、天明の大飢饉が起きて100万人以上(全人口の3.5%)が死亡、弘前藩では人口の三分の一が餓死した。**1783年に浅間山の噴火**も起きているが、ラキ火山の影響も大きかったと考えられている。
- ラキ火山より遥かに規模の大きい**超巨大噴火**は、日本では過去12万年で15回、8000年に一度起きている。**最後は7300年前の喜界カルデラ噴火**。現代文明はまだ超巨大噴火を経験していない。

火山の冬～トバ・カタストロフ

インドネシアのスマトラ島にある**トバ火山**が**7万数千年前**に**大噴火**を起こして気候の寒冷化を引き起こし、その後の人類の進化に大きな影響を与えた

トバ・カタストロフ理論によれば、大気中に巻き上げられた大量の火山灰が日光を遮断し、**地球の気温は平均5℃も低下し、劇的な寒冷化はおよそ6000年間続いた**とされる。その後も気候は断続的に寒冷化するようになり、地球は**ヴェルム氷期へと突入**する。

現世人類もトバ事変の気候変動によって総人口が1万人以下にまで激減し、生物学的にほぼ絶滅寸前近くまで追い込まれた

現世人類は極めて少ない人口(1000組-1万組ほどの夫婦)から進化したことが想定されている。遺伝子変化の平均速度から推定された**人口の極小時期はトバ事変の時期と一致**する。

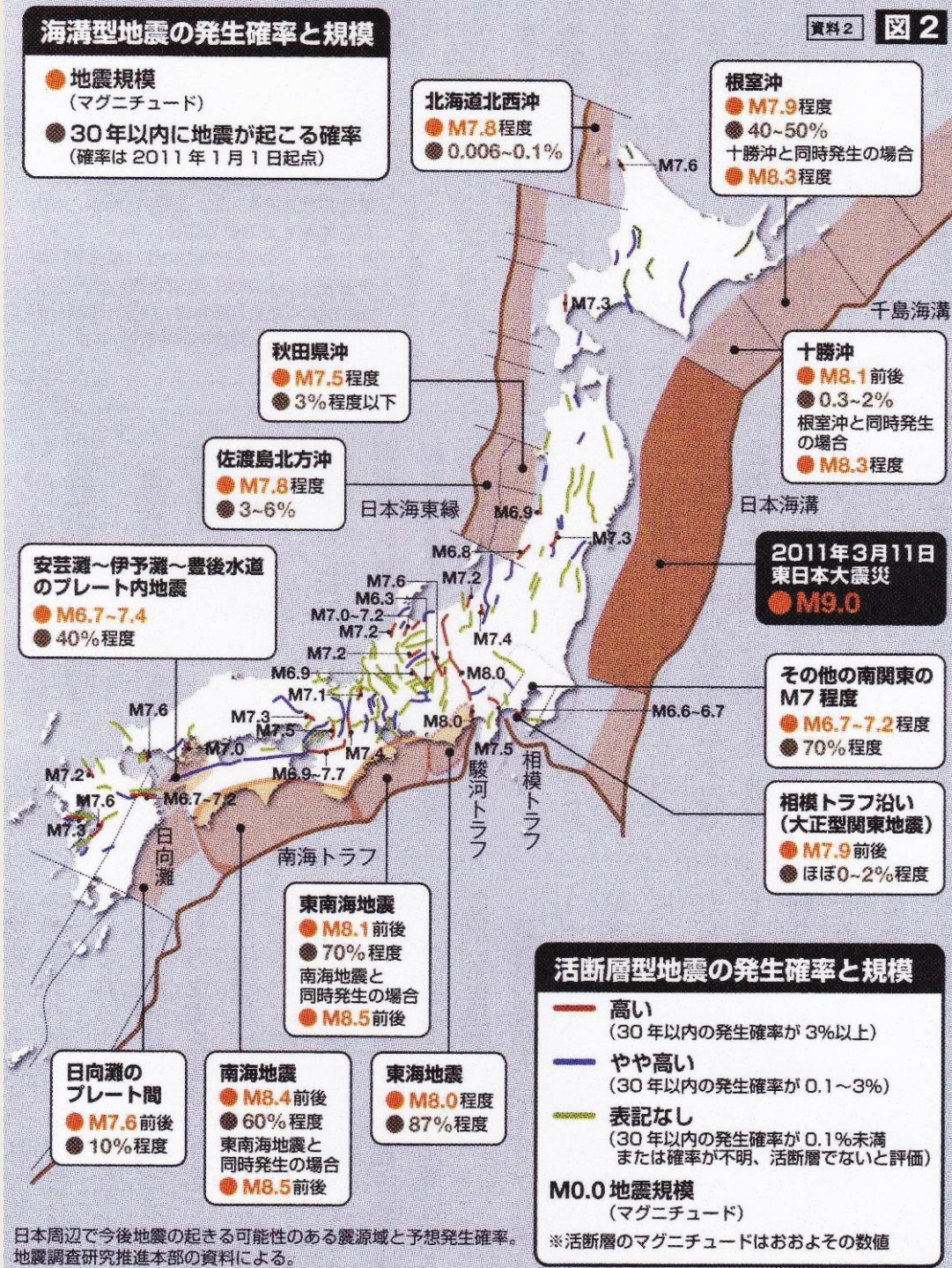
およそ7万年前にヒトが衣服を着るようになり、新しい寄宿環境に応じてコロモジラミが分化したと解釈される。そこで研究者らは、時期的に一致することから**トバ火山の噴火とその後の寒冷化した気候を生き抜くために、ヒトが衣服を着るようになった**のではないかと考えている。

地震とは

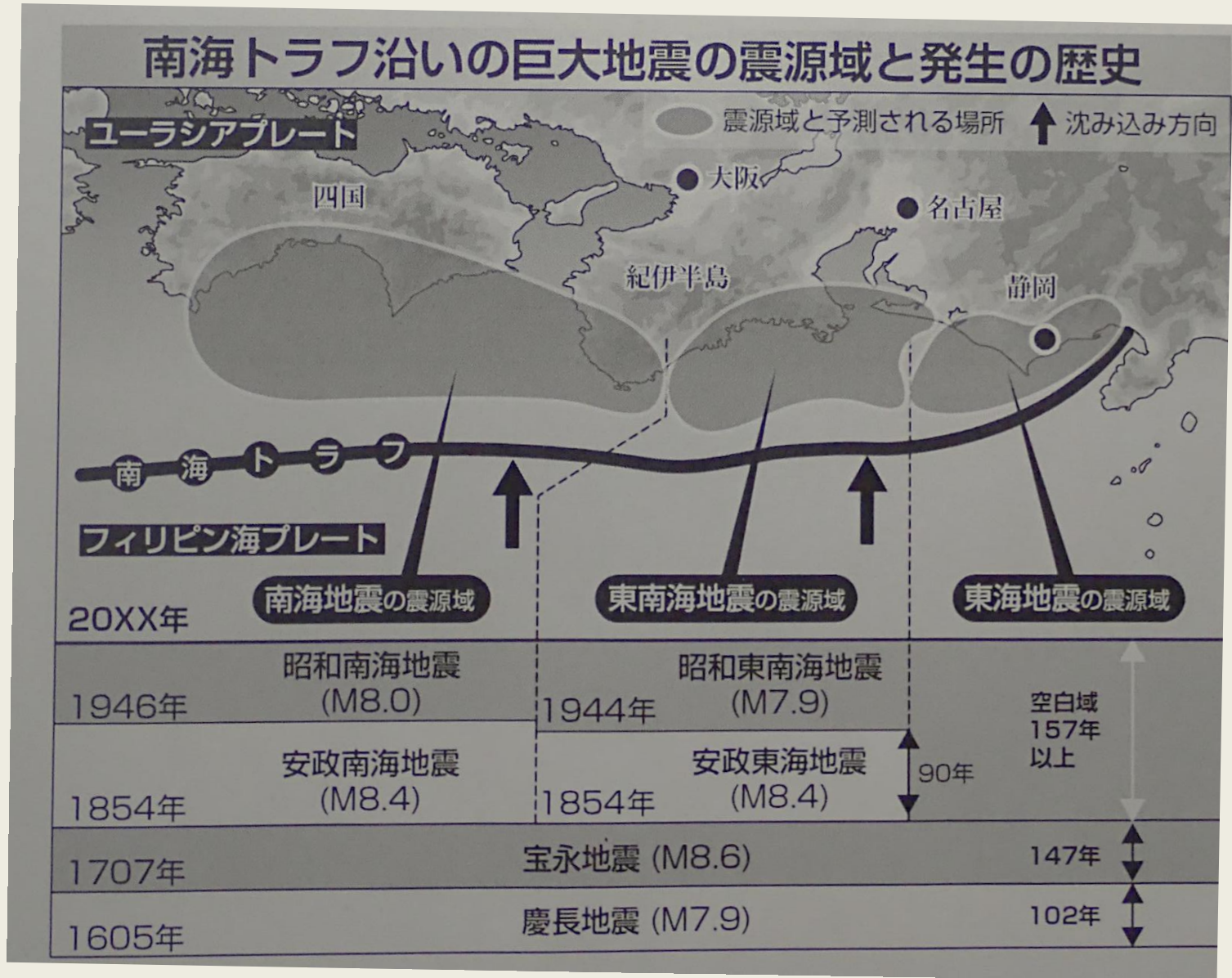
- 地下で起きる岩盤の「ずれ」により発生する現象。硬い物に強い力がかかるとひびが入る。地下では岩盤に力がかかっており、力に耐えられなくなったときにひびの部分で岩盤がずれ地震が起こる。ひびは断層で、ずれやすいところが活断層。日本列島はいたるところに断層、活断層が有る。
- 岩盤にかかる力の源はプレートの移動。プレート少しずつ動いており、プレートどうしがぶつかったり、すれ違ったり、片方のプレートがもう一方のプレートの下に沈み込んだりしている。この、プレートどうしがぶつかっている付近では強い力が働く。この力により地震が発生する。
- プレートの沈み込み帯で起こるのが海溝型地震で、巨大地震となり津波を引き起こすことも有る。ひとたび海溝型の大きな地震が起きると、それによって生じた力のかかり方の変化に応じて内陸部で色々な断層が動く(活断層型地震)
- 地震の規模を示すマグニチュードとは、地震が発するエネルギーの大きさを対数で表した指標値。エネルギーは マグニチュードが0.1増で1.4倍、0.2増で2倍、1.0増で32倍、2.0増で1000倍となる。
- 震度とはある場所における地震の揺れの強弱の程度を表す。計測震度計で自動的に計測している。計測震度の計算には、加速度の大きさの他に、揺れの周期や継続時間も考慮する。

南海トラフ大地震と 首都直下型地震

- 南海トラフ大地震 M9.1 30年以内に起こる確率80%程度
- 南海トラフ大地震で予想される被害は、最悪の想定では、東日本大震災の10倍以上の規模
死者 32万人
被害額 220兆円
- 東日本大震災の被害
死者・行方不明者 18880名
被害額 19兆円
- 「首都直下地震」とは、首都及びその周辺地域の直下で発生するマグニチュード7クラスの地震。及び相模トラフ沿い等で発生するマグニチュード8クラスの海溝型地震のこと、関東大震災はこの型の地震
- 首都直下型地震 M7~8程度、30年以内に起こる確率70%程度
- 首都直下型地震の被害想定
死者行方不明者 23000人
被害額 95兆円



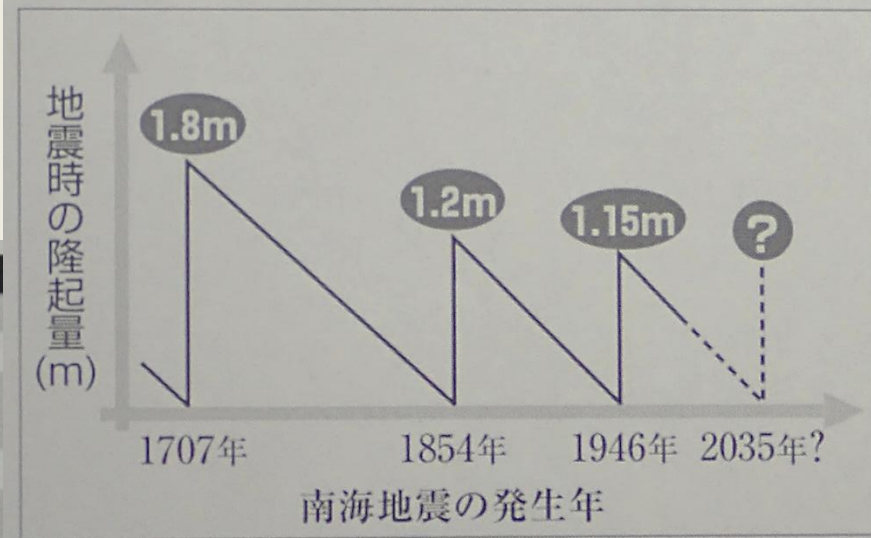
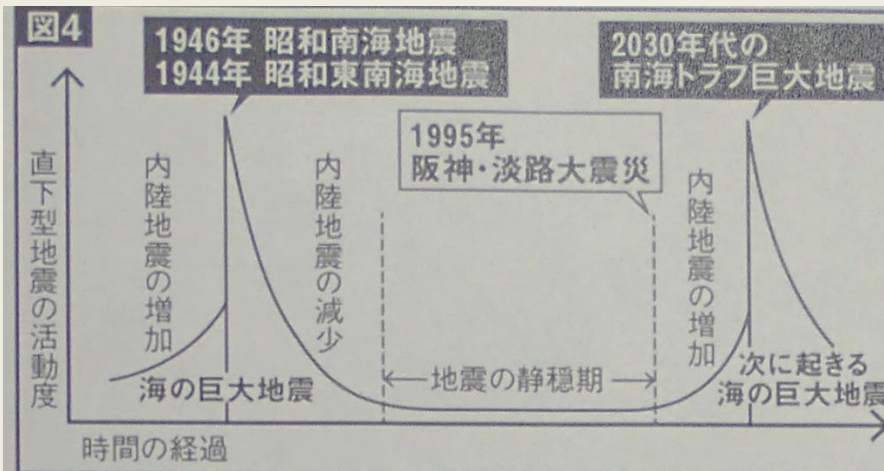
南海トラフ大地震



南海トラフ大地震

平安時代に起きた貞観地震との類似性が指摘されている

大地震が富士山の地下に有るマグマだまりに影響を与え、富士山の噴火を引き起こす可能性が高い



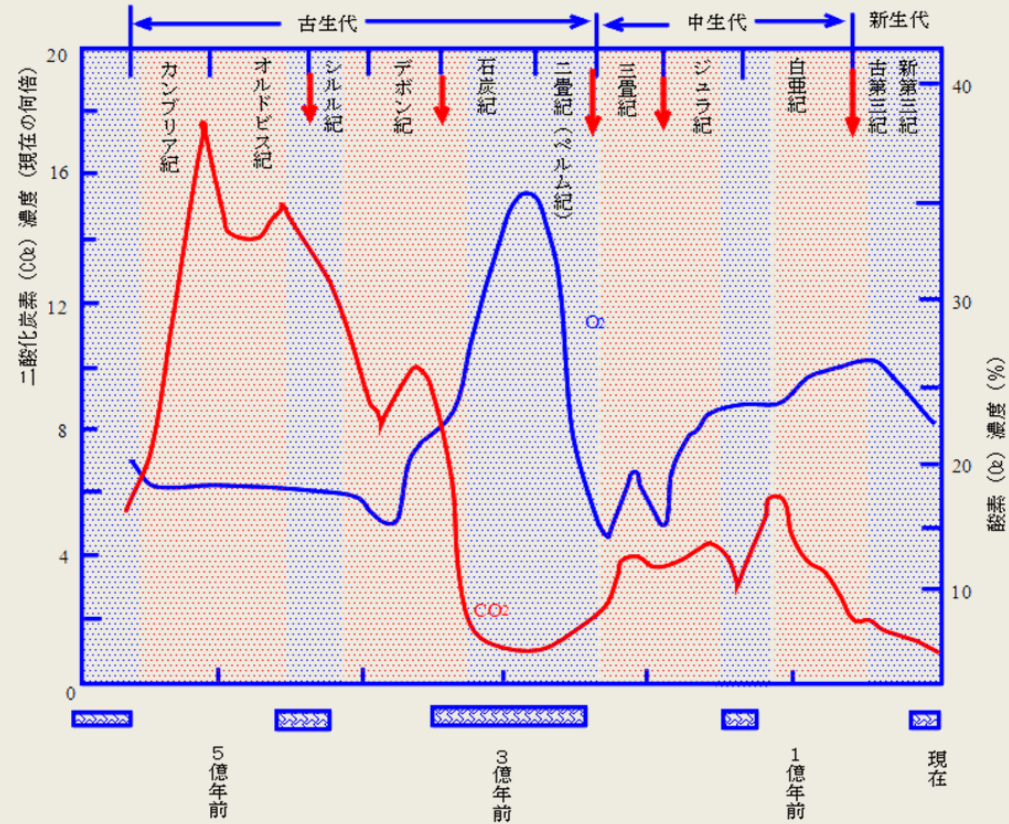
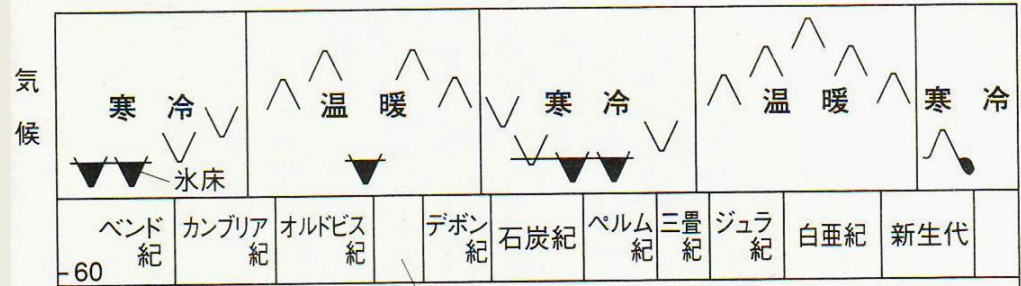
平安時代 (9世紀)	震源	現代 (21世紀)
850年 三宅島		2000年 有珠山、三宅島
863年 越中・越後地震	新潟県中越地方	2004年 新潟県中越地震 (M6.8)
864年 富士山		2009年 浅間山
867年 阿蘇山		2011年 新燃岳
869年 貞観地震	宮城県沖	2011年 東日本大震災 (M9.0)
874年 開聞岳		2013年 西之島
878年 相模・武蔵地震	関東地方南部	2014年 御嶽山、阿蘇山
886年 新島		不確定 「首都直下地震」 (M7.3)
887年 仁和地震	南海トラフ	2030年代 「南海トラフ巨大地震」 (M9.1)

Mは地震のマグニチュード。白地は地震、アミかけは噴火

高知県の室津港の地震前後の地盤の上下変位量

気候変動の歴史(8億年前～)

- 地球は寒冷化と温暖化を繰り返している
- 地球上に氷床が発達している時期を氷河時代という
- 過去に少なくとも5回の大きな氷河時代があった。それらは、ヒューロニアン氷河時代、クライオジェニアン、アンデスーサハラ氷河時代、カルー氷河時代、第四紀氷河時代である。
- クライオジェニアン(8億5000万年前から6億3000万年前)は最も厳しく、地球全体が氷床に覆われた(スノーボールアース)
- 地球史的には、現在より温暖な時代が多かった



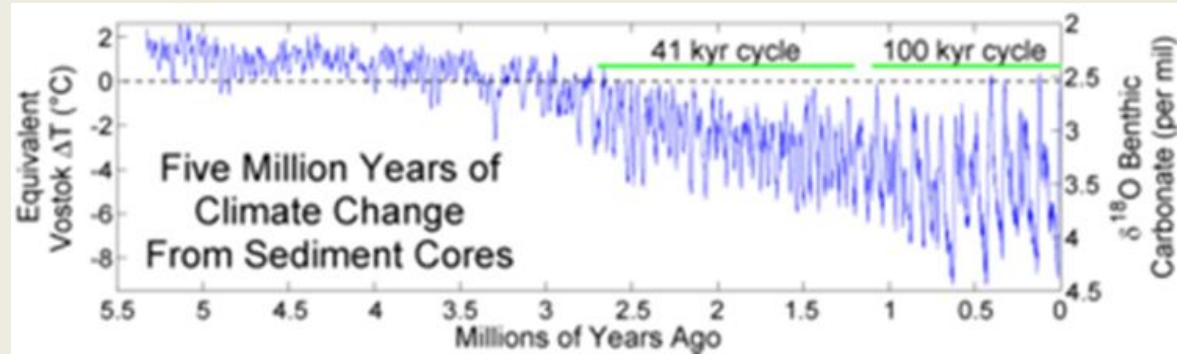
温暖な時代
 寒冷な時代
 氷河・海氷の発達

↓ 生物の大量絶滅が起こった時期

気候変動の歴史(500万年前～)

(500万年前からの気温変動)

- 第四紀(258万年前から)は寒冷化の時代で、その中で氷期と間氷期を繰り返している
- 100万年前までは4.1万年周期の変動が顕著
- 100万年前から、10万年周期の変動が顕著
- 1万年前に最後の氷期が終わり、気温が急上昇。
10万年の周期性に従えば、現在はゆっくり気温が低下していく時期に当たっている



(40万年前からの気温変動)

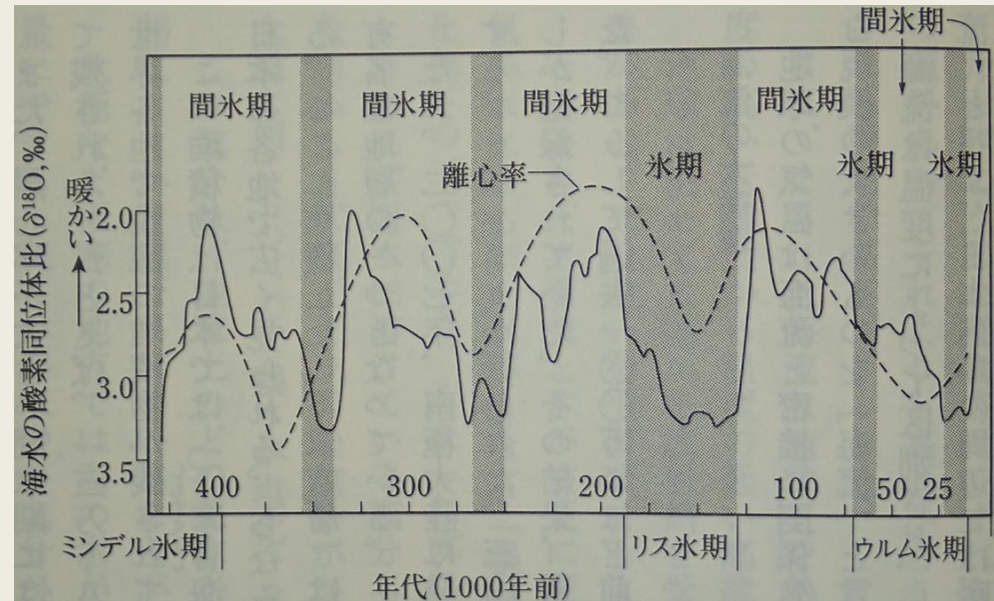


図12-1-5 過去40万年間の離心率の周期変化(破線)と気温変化(実線). 丸山茂徳氏による図を一部改変.

気候変動の歴史(8万年前～)

- 最終氷期(ウルム氷期)は7万年に始まって、1万年前に終わった
- 氷期は気温が低だけでなく、温度変化の激しい時期だった。短期間の間に気温が7°C以上も上下するような気候が繰り返された
- 現在はウルム氷期後の間氷期で、ゆっくりと寒冷化が進む時代、しかし8000年前の農耕の開始以来寒冷化が進んでいない。

(最終氷期以後の気候変動)

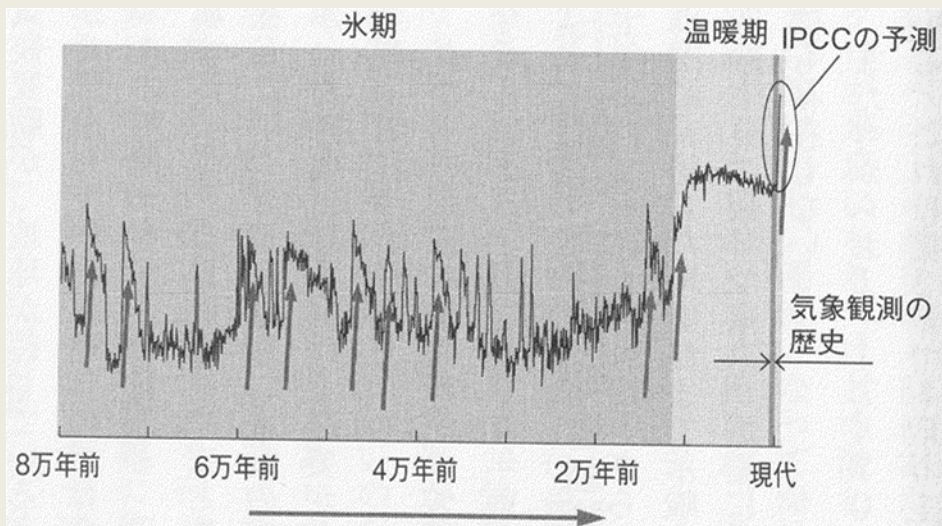


図3.1 IPCC予測と過去の気候変動の比較
 これからの地球は、今までとは「まったく違った状態」に突入するのだろうか。

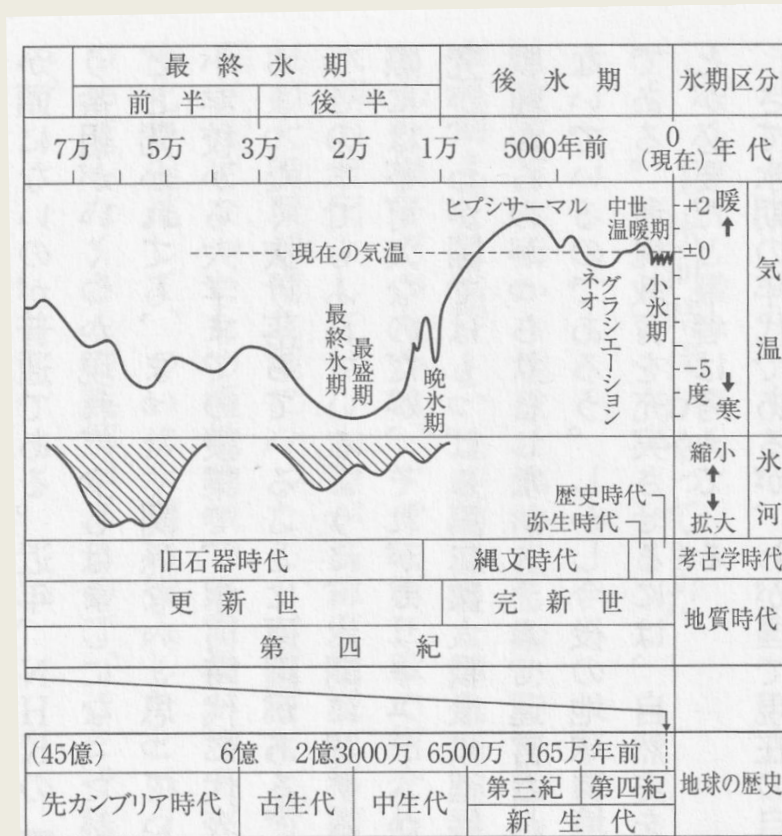
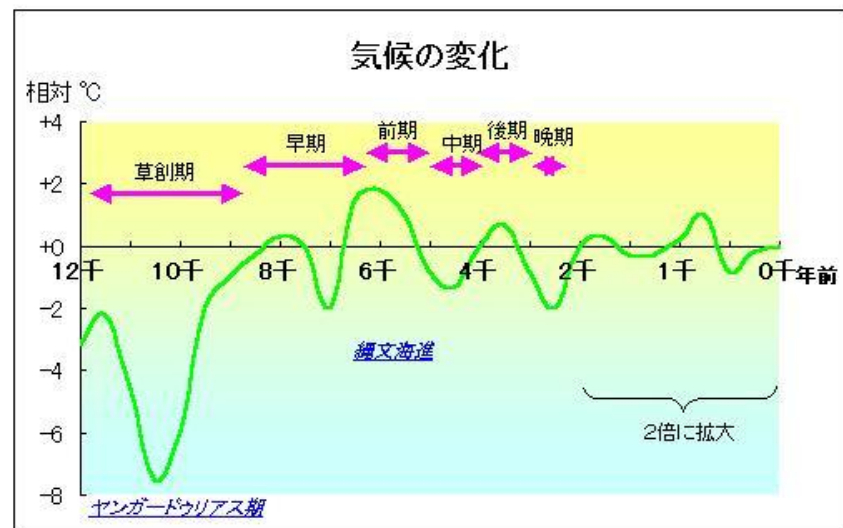


図9・1 最終氷期～現在の自然史年表 (小泉武栄・清水長正編『山の自然学入門』古今書院にもとづく)

気候変動の歴史(1.2万年前～)

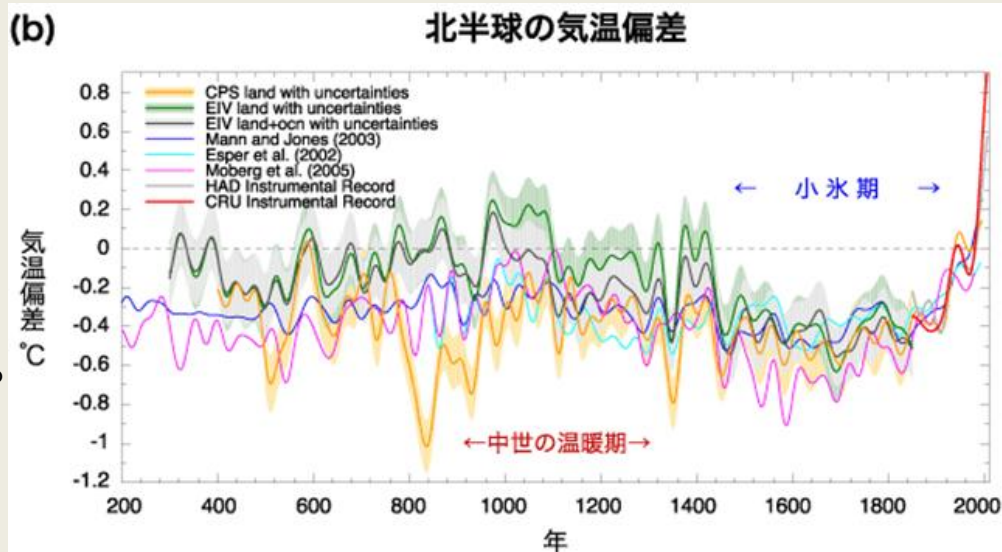
(後氷期の気候変動)

- **縄文海進(ヒプシサーマル期)**
6000年程前、気温が今より2°C程度高い温暖な時期があり、海面水準は2-3m高かった
- **平安海進(中世温暖期)**
8世紀から12世紀にかけて発生した海水準の上昇(50cm程度)
- **小氷期**
14世紀から19世紀にかけて太陽活動が不活発化したために起こったと考えられている。現在太平洋側あるブナ林はその頃形成されたものであり、温暖化して雪が積もらなくなった現在では更新されていない
- 後氷期の気温の変動は2°C程度。氷期に比べると、変動幅は遥かに小さい。気温変動の理由は太陽活動の変化が主因と考えられている。



晩氷期以降の気候変動と文明の盛衰(安田、1996)
(年代は補正を加えないC14年代測定値にもとづいたもの)
『縄文文明の環境』安田喜憲著、吉川弘文館発行 参照

(紀元後の気温変動)



気候変動の原因

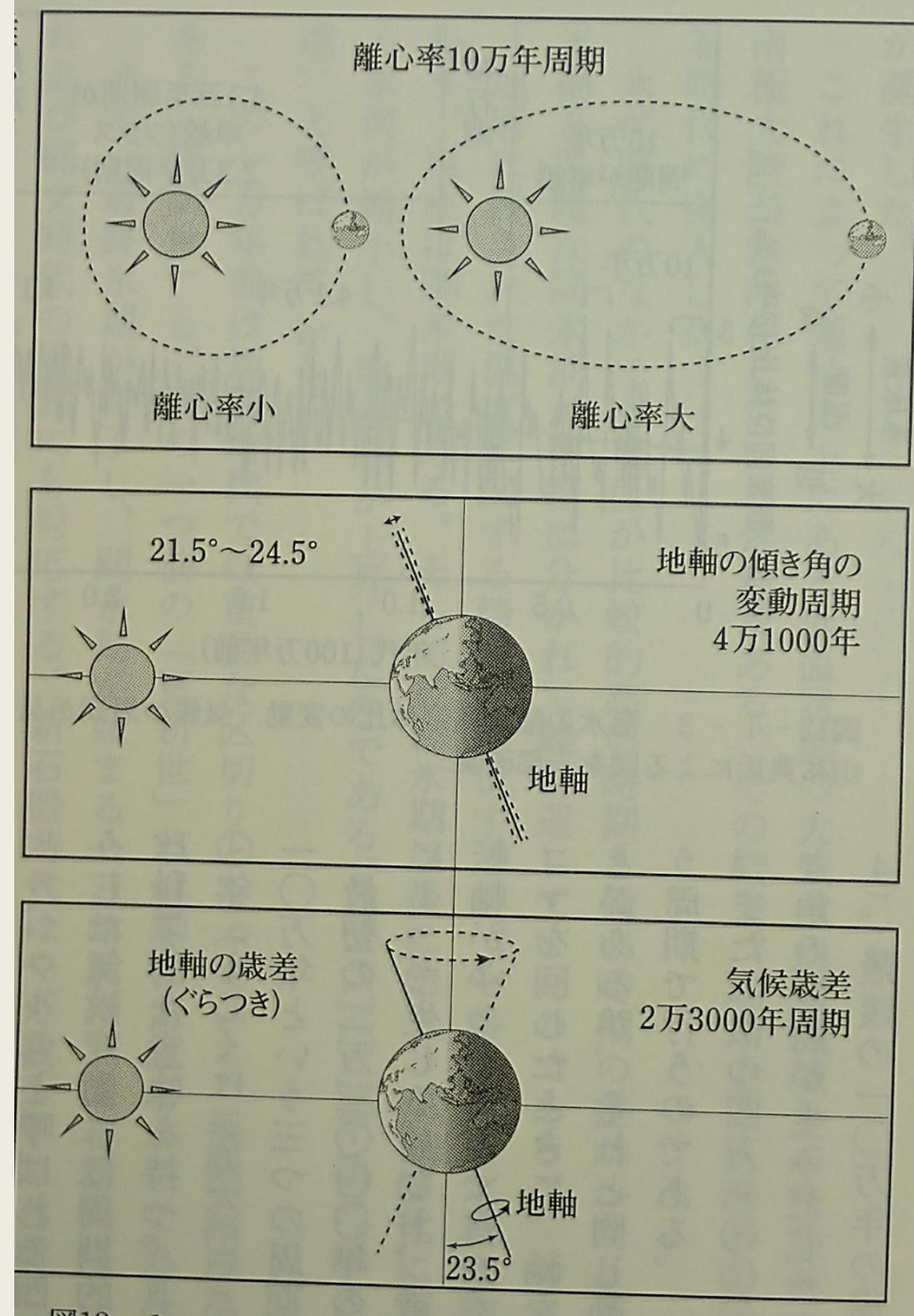
ミランコビッチサイクルとは、日射量の変化を地球の動きから説明したもの

地球の公転軌道は少し楕円形で、10万年周期で変化している。太陽と地球の距離は最大1827万Km(12%)も変わる。

地軸の傾きは現在は 23.4° だが、 $21.5^\circ \sim 24.5^\circ$ の間を4万1000年周期で変化している。

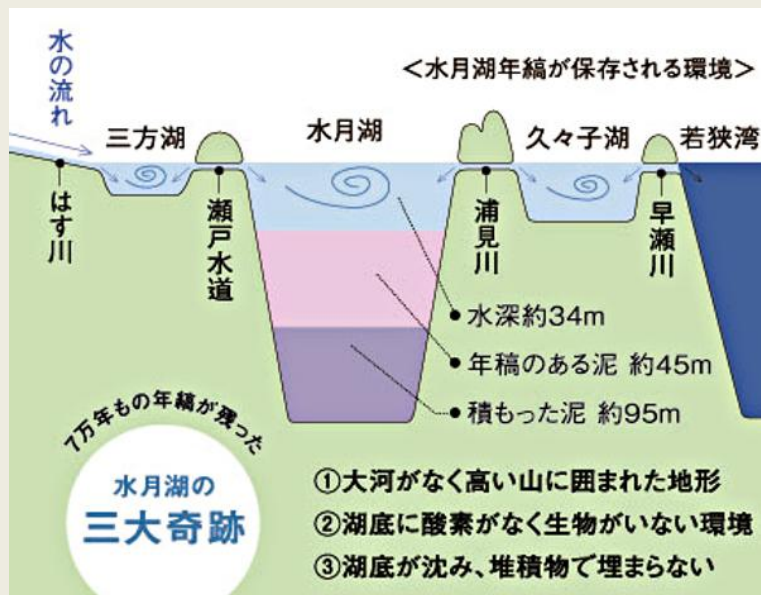
地軸は約2万年(2~2.6万年)周期でぐらついている(日射量の変化は2万3000年周期)。1万2000年経つと北極星の位置は、今のこと座のベガになる。

以上の3つの要素から地球上の各地が受け取る日射量と季節要因を考慮して計算すると、気候変動が周期的に起こることが分かった



気候変動の原因

- 水月湖は福井県の若狭湾のそばにある湖、ここで世界的な湖底地層(年縞)が発見され、年代測定の世界標準になっている



- 年縞に含まれる花粉分析から植生と気温が復元され、10万年周期と2.3万年周期がはっきりと示された。
- 2.3万年は植生のサイクル変化には十分な時間

(復元された、気候変動と植生の変化)

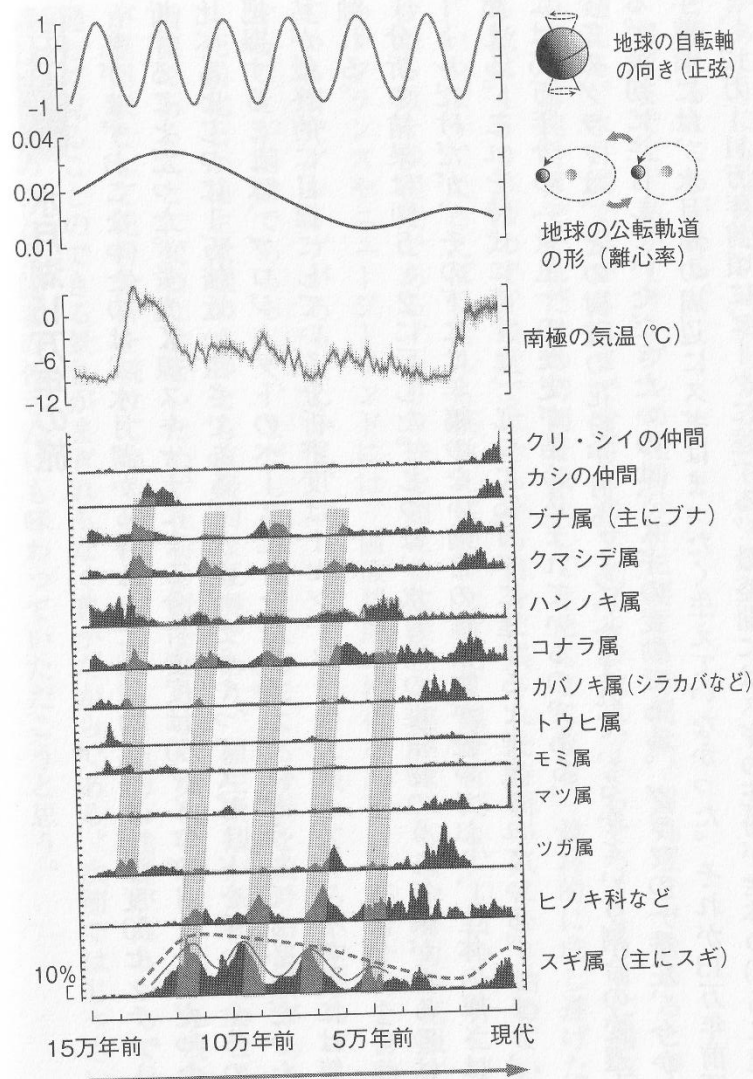


図5.2 水月湖15万年の植生の変遷
時代によってまったく違う森が広がっていた。植物が交代することの直接の理由は気候変動だが、その背景には天文学的なメカニズムが作用している。

気候変動の原因

第6章 過去の気候変動を再現する

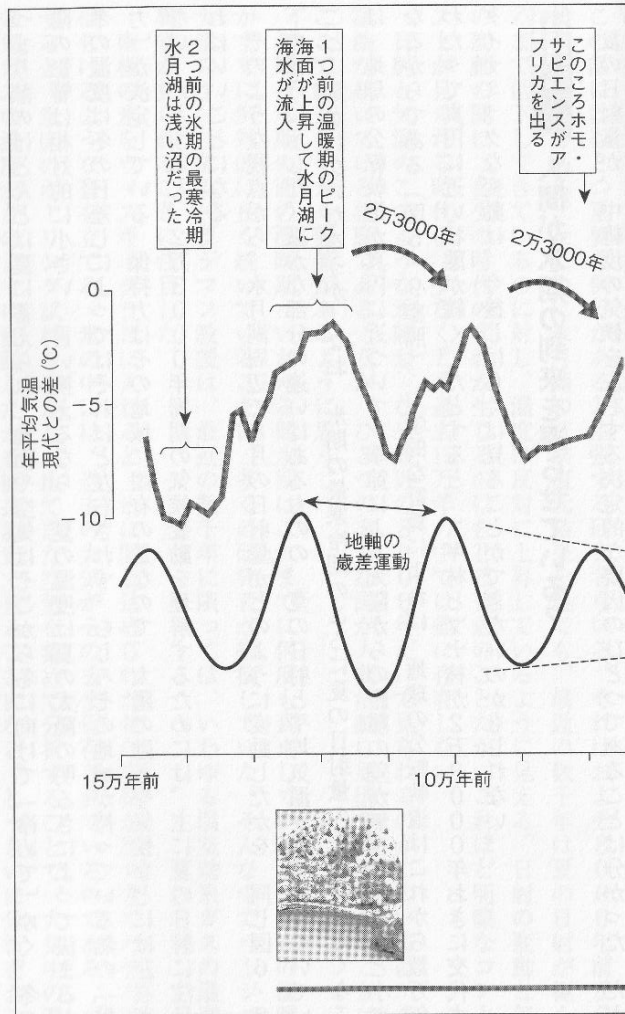
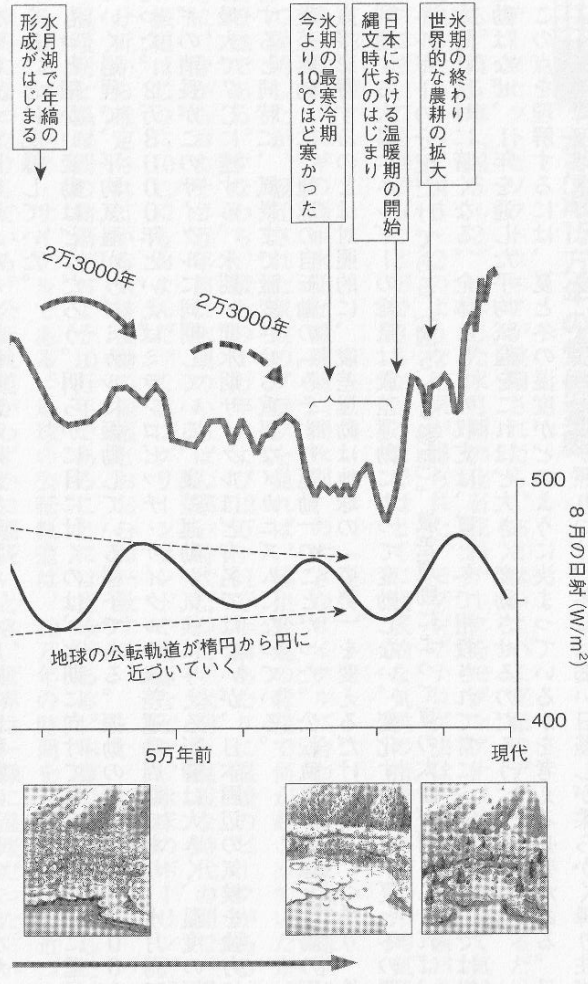


図6.2 水月湖15万年の気候の歴史



水月湖の年縞から復元された気候変動サイクルは、ミランコビッチサイクルに一致している

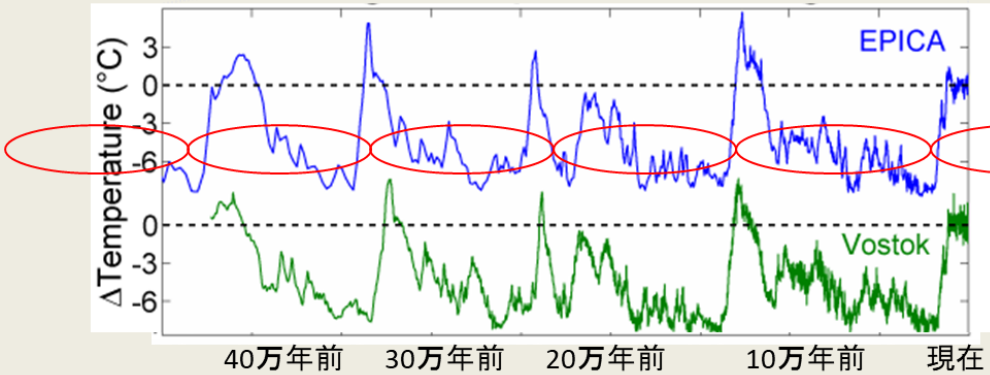
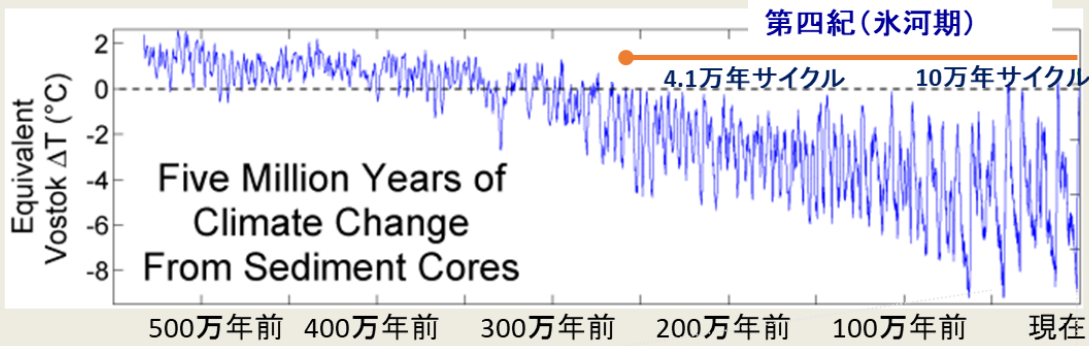
気候変動の原因

- 地球史的な超長期にわたる気候変動は、火山活動や生物活動による温暖化ガス(二酸化炭素、メタン)の増減、大陸の配置と海流の流れ方、大陸衝突に伴う高山の形成による気流の流れ方や雨量の変化などが強く影響している
- 地球全体の気温が最も高かった時期では火山由来の二酸化炭素がおそらく気温上昇に影響を及ぼしたであろうと考えられる。スノーボールアースを解消したのも火山由来の二酸化炭素による温暖化効果
- 1億5000万年前にかなり温暖な気候をもたらした一つの要因として、恐竜が消化作用の過程で放出したメタンガスだった。現在人間が放出するメタンと同等の量のメタンを放出した
- 氷河時代は赤道から両極へと向かう暖流を止めるか減少させる位置に大陸があるときに始まる。現在は北極海は陸地に囲まれ、南極には大陸があり、寒冷化しやすい配置
- 大陸移動により4000万年前頃に南極大陸が孤立して周囲に南極環流ができ、熱の南北移動が妨げられ、南極大陸の寒冷化が進み、大氷床が形成された。
- 南極環流の成立は地球全体の海流の流れを変え、温帯熱帯地域の雨量の増大や浸食・光合成の活発化を通じて大気中の二酸化炭素を減少させ、地球全体の寒冷化にもつながった

気候変動の原因

- 南極大陸の形成と並んで、4000万年前からの**ヒマラヤ山脈形成**の歴史は、4000万年前からの地球の平均気温の長期的な低下と大体一致する
気流の変化による雨量の増大（アジアモンスーン気候の成立）により浸食活動が活発化し。**大陸から大量に運ばれるカルシウム分が海洋の二酸化炭素を減らし**、ひいては大気中の二酸化炭素濃度を減らして寒冷化につながった
- **第四紀の周期的な気候変動（2.3万年、4.1万年、10万年周期）は、ミランコビッチサイクル**によってうまく説明でき、グリーンランドや南極大陸の氷床コアの研究などによって実証されている
- 気候は色々な要素の極めて精妙なバランスの上に成立している。長期的にみるとそれらのバランスの変化により大規模な気候変動が生じている
- 人類活動は**極めて短い時間**のうちに気候に大きく影響する要素の変化、特に**温暖化ガス**の増加を引き起こしている

気候変動～氷河期



名称	氷/間氷	年代(1000年)
後氷期	間氷期	15-
ヴェルム	氷期	15-70
	間氷期	70-130
リス	氷期	130-180
	間氷期	180-230
ミンデル	氷期	230-300
	間氷期	300-330
ギュンツ	氷期	330-470
	間氷期	470-540
ドナウII	氷期	540-550
	間氷期	550-585
ドナウI	氷期	585-600

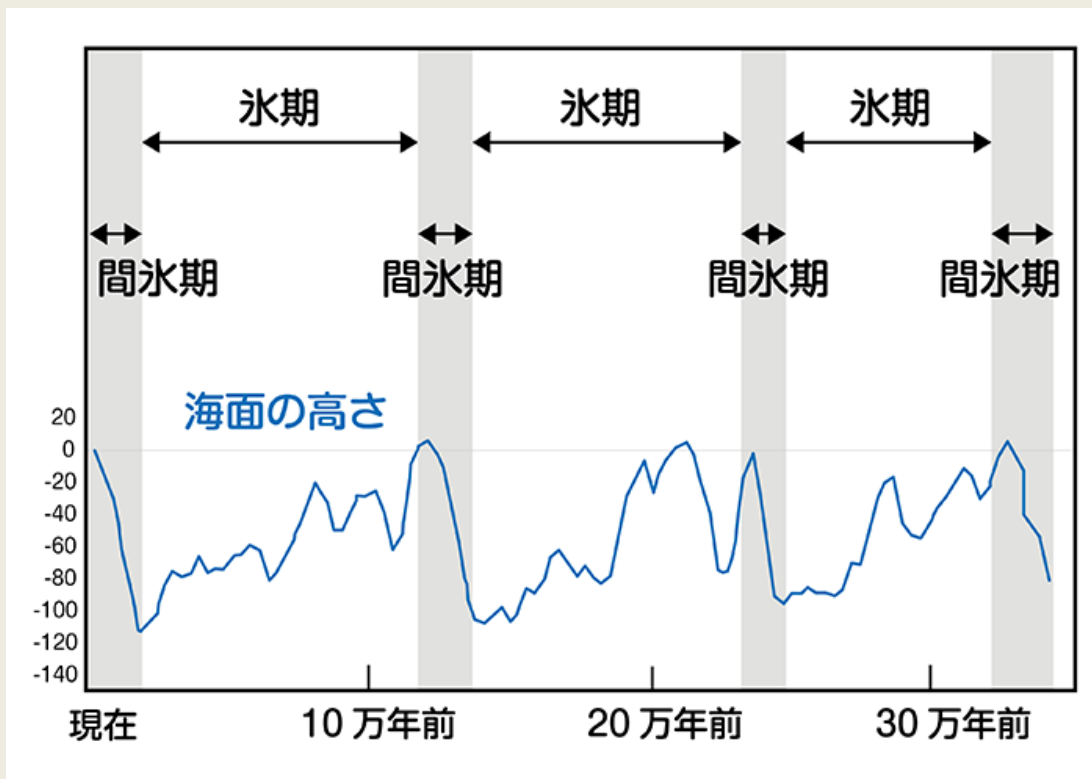
約10万年周期で7回の氷期・間氷期

地軸の周期的な変化が原因
(ミランコビッチサイクル)

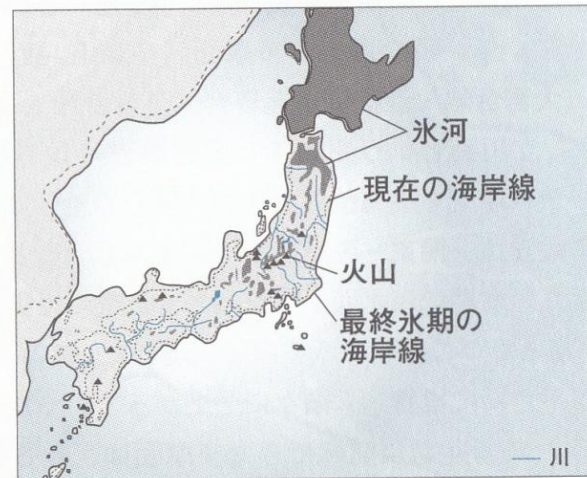
短い間氷期
変動を繰り返しながら徐々に寒冷化し
突然温暖化

氷河期と海面水準の変化

- 氷河期は多くの水(氷)が大陸上に留まるため、海面が低下するが、間氷期には上昇する。上下差は150m近くに及んだ
- 三陸海岸、外房、伊勢志摩などのリアス式海岸、瀬戸内海は、海面水準の上昇によって生まれた



最終氷期 (約2万年前) の陸地



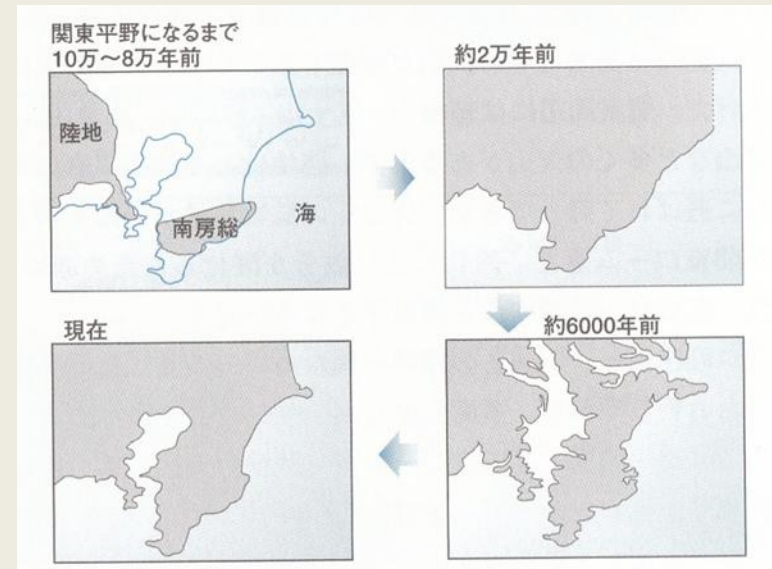
氷河期と海面水準の変化～リアス式海岸～

- 東北では牡鹿半島から八戸まで続くリアス式海岸が発達している
- リアス式海岸は海水準の変化により作られた地形
- **2万年前は海水準は120mほど低く、河川により土地が削られ、沿岸部に急な谷が出来た**
- その後氷期が終わり海水準が上昇して谷に海が入り込んできて、徐々にリアス式海岸となった
- リアス式海岸が出来る条件として、沿岸部の土地が削られにくい堅い岩石であることと、川の流域面積が狭く土砂による埋め立てが少ないこと
- 日本では三陸海岸の他に、伊勢志摩、若狭湾、伊豆半島、三浦半島、房総半島などに有る

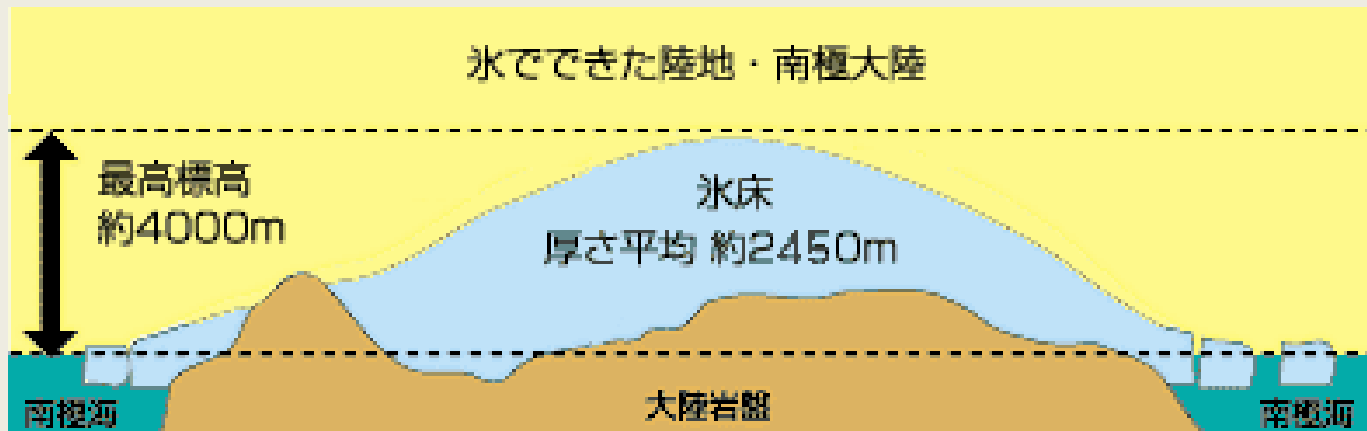


氷河期と海面水準の変化～関東平野～

- 関東平野は中央部は沈降帯周辺部が隆起する「関東造盆地運動」という地殻変動を受けている
- フィリピン海プレートが本州に衝突して、付加体を押し付けている所(前弧リッジ)が南房総や三浦半島で、プレートの沈み込みにより上部が引っ張られ沈むところ(前弧海盆)に当たるのが関東平野、その沈んだ所を利根川、荒川、多摩川などの大きな河川が周囲の山を侵食して運んできた土砂が埋めて広い平野を作った
- 第四期(260万年前から)のもっとも古い地層は地下1000m以下のところにある。中央部での沈降と堆積、周辺部での隆起と浸食という作用は、第四紀の間ずっと続いてきた
- 氷期と間氷期の海面水準の上下により、海になったり陸になったりを繰り返して、広く平らな平野が形成された
- 埼玉県行田市では5-7世紀の古墳が田んぼの下で見つかっている。当初は古墳は高台の上で作られたと考えられるが、1400年の間に沈降し沖積層に埋もれてしまった。平安海進の影響も考えられる。



氷河期と海面水準の変化



- 南極の大きさは約1,300万平方Km、日本の大きさの36倍。オーストラリア大陸よりも大きい。この広い場所が平均約2500mの厚さの氷に覆われている。
- デンマーク自治領のグリーンランドの面積は約217万平方Km、日本の約6倍。8割が氷床に覆われていて平均の厚さは1500m
- 現在氷床に覆われている南極大陸とグリーンランドの氷が全て溶けると、海面は約80m(70-100m)上昇する。



Google Flood Map(海面60m上昇)

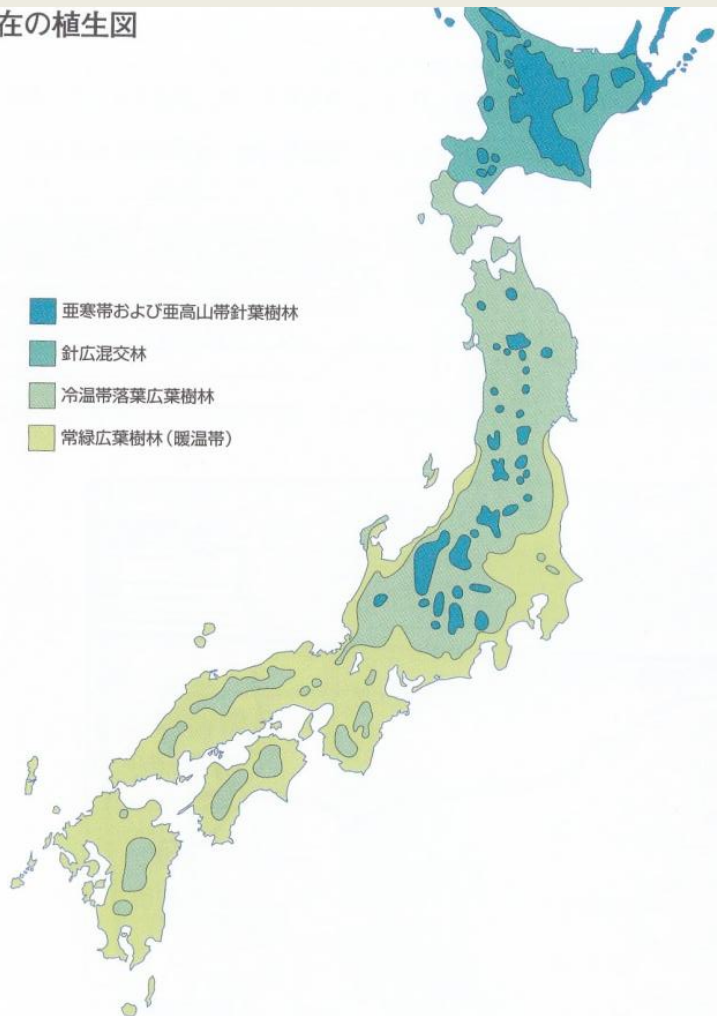
[海水面が上昇すると世界はどうなってしまうのか](#)

氷河期と植生の変化

- 氷河の周辺には永久凍土や構造土、岩塊斜面といった周氷河地形が発達した。岩塊斜面は、氷河期に凍結破碎作用が強まり岩塊が多く生産されたもので、現在でも森林限界の低下等、高山帯の植生に大きな影響を与えている。
- 高山植物の多くは氷河時代に南下してきた周氷河植物が、後氷期になって高山帯へ退避したものである。高度が150m上がると気温は1度低下する。また北方へ150Km移動するのと等しい。
- 氷河期には温度の低下と積雪量の減少で気候は大陸的になり乾燥していた。亜高山針葉樹林は乾燥に強いグイマツが東北から北で優先し、中部地方はヒメバラモミやトウヒなどのトウヒ族が優勢だった。
- 後氷期の多雪化でグイマツはほろび、ヒプシサーマル期(縄文海進の時期)には日本列島から亜高山針葉樹林がほとんど姿を消した。亜高山針葉樹林は4000年前から復活してくるが、それはシラビソ、オオシラビソのモミ属が中心。南アルプスや関東山地、奥日光では回復が順調に進んだが、出羽山地の様に雪が多すぎるところでは復活がうまく進んでおらず、偽高山帯が存在する。東北では八幡平から復活が進み600年前にようやく針葉樹林帯が成立した。その後南に向かって分布を拡大中。
- 後氷期になって対馬海流が日本海に流れ込むのは1万2000年前からで、8000年前からは現在と同じ状態になった。このため日本海側の積雪は大幅に増えた。尾瀬の湿原は8000年前からの多雪で水排けが悪くなり、泥炭が堆積することにより出来上がった

氷河期と植生の変化

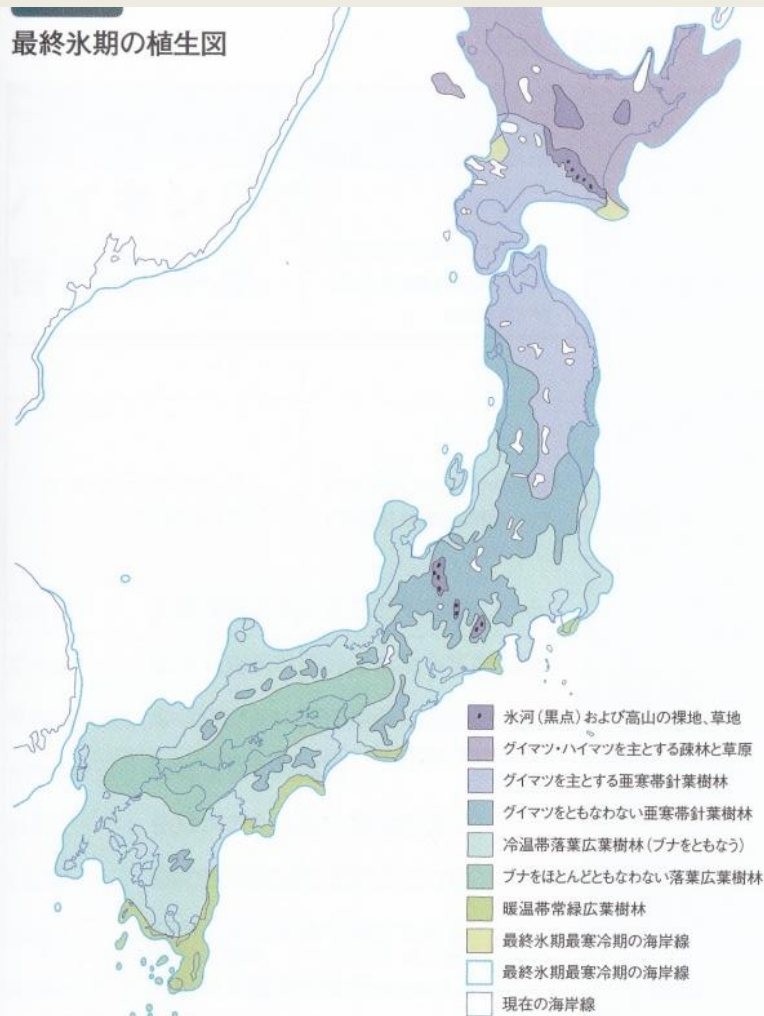
現在の植生図



吉岡1973を小野・五十嵐1991が改変

気温は北に向かうほど低下するので、それに対応して成立する森林が異なってくる。これを植生の水平分布と呼ぶ。また、垂直分布と呼ばれる標高による気温の低下も関係する。図には出ていないが、琉球列島、小笠原諸島には亜熱帯植生が分布している。

最終氷期の植生図

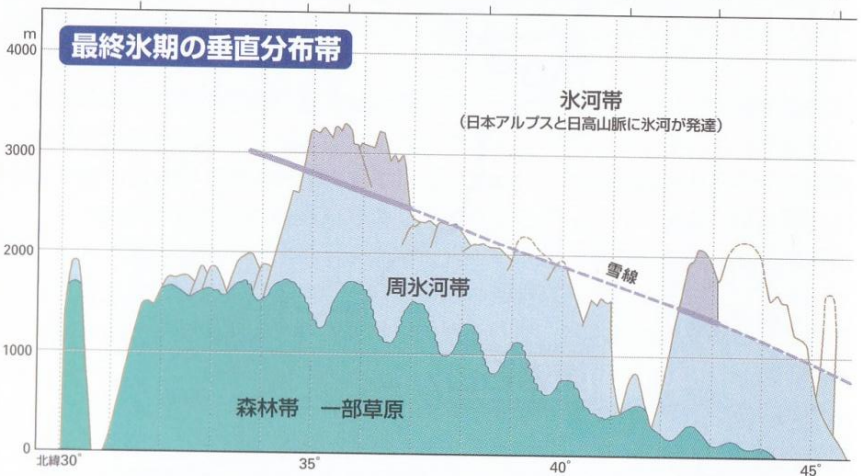
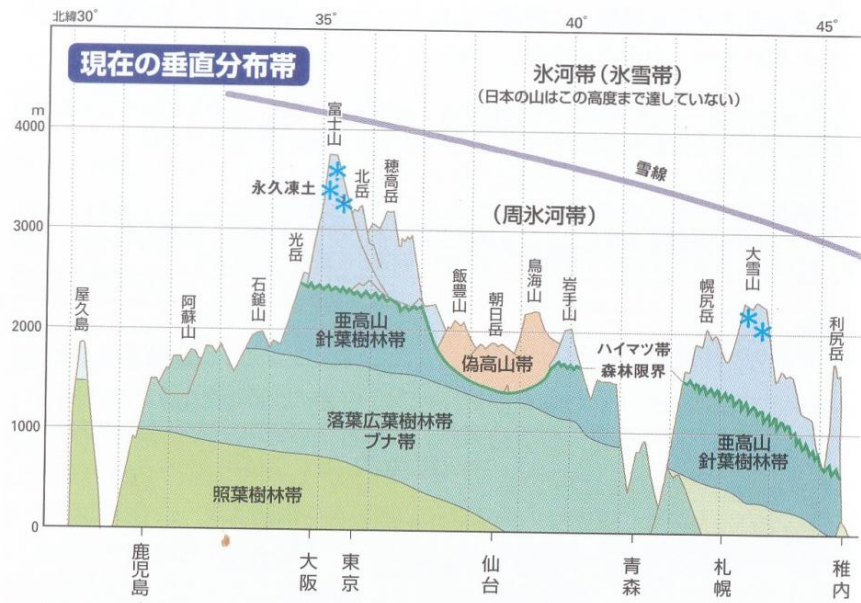


那須、1980を一部改変して五十嵐作成

2万年前の最終氷期は、寒冷化のために、北海道にはグイマツ(カラマツの一種)、ハイマツを主とする疎林と草原が広がり、東北地方北部はグイマツの森林になっていた。現在の暖温帯落葉広葉樹林の領域にはブナ林(落葉広葉樹林)が広がり、暖温帯常緑広葉樹林は屋久島付近や、四国などの半島の先端部に追いやられていた。

氷河期と植生の変化

植物の垂直分布帯



山は高いところほど気温が下がるため、それを反映して高いところほど寒い気候にあった植物が生育し、高度に対応した植生帯ができる。これを垂直分布帯と呼ぶ。九州には亜高山針葉樹林帯は分布せず、飯豊山 (P184) や鳥海山 (P116) では亜高山針葉樹林帯が欠けて偽高山帯と呼ばれる草原になっている。 小泉武栄・清水長正編『山の自然学入門』より引用

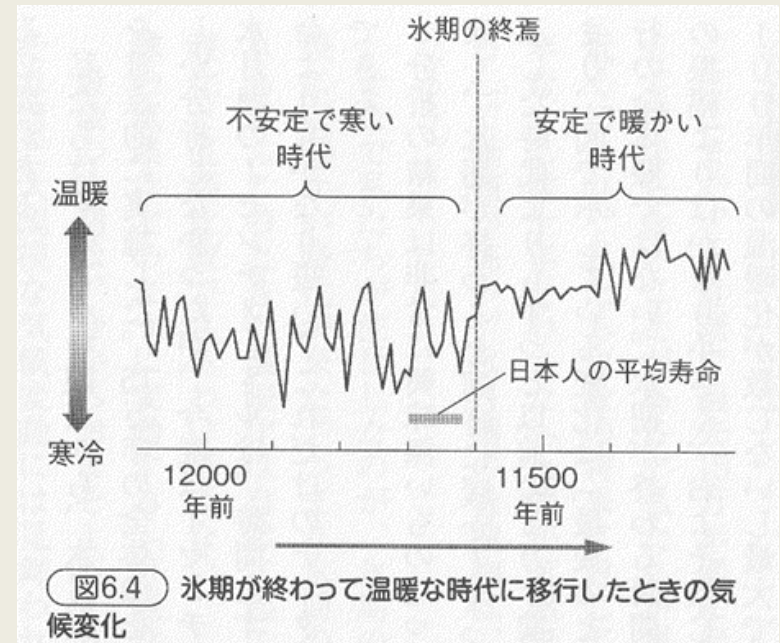
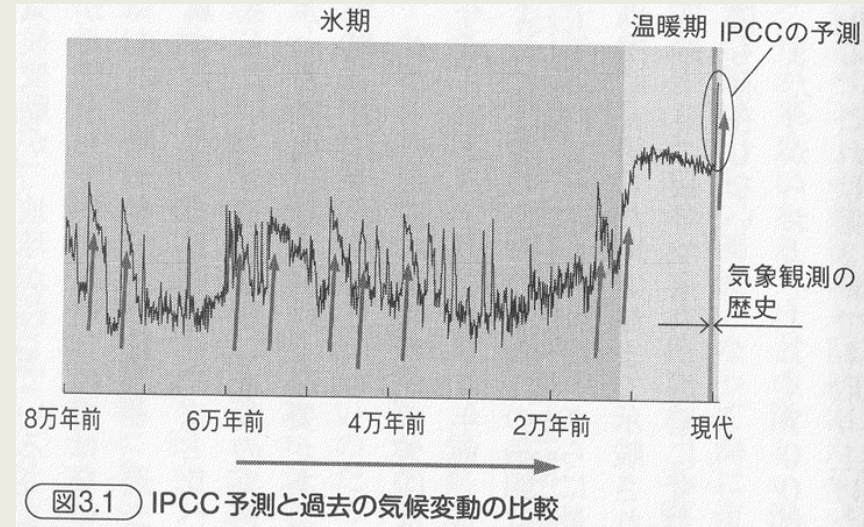
垂直分布帯と群落を構成する植物

	植物群落	解説	代表的な植物種
高山帯	ハイマツ群落	高山帯を代表する低木群落。最も条件のよい場所に分布	ハイマツ。内部にガンコウランやコケモモ、ハクサンシャクナゲなどが混じることもある
	高茎草原	水分条件や栄養条件のよいところに発達する丈の高い草本からなる群落。高山のお花畑といえ、普通これをさす。ハイマツの分布地より雪どけが遅い	シナマキンバイ、ミヤマキンボウゲ、ハクサンフウコ、コバイケイソウ、クルマユリなど
	雪田植物群落	残雪のとけた跡に成立する群落	水分の豊富などところにはハクサンゴザクラ、イワイチョウ。雪どけ後、乾燥するところにはアオノツガザクラ、チングルマ
	風衝矮低木群落	強風地だが、やや風の弱い場所に分布する群落	イワウメ、ミネズオウ、ガンコウラン、クロマメノキ、コメバツガザクラなど
	風衝草原	稜線沿いの強風地に現れる群落	ヒゲハリスゲ、オヤマノエンドウ、オノエスゲ、トウヤクリンドウなど
	高山荒原植物群落	砂礫の移動しやすい強風砂礫地や雪田の底、崩壊地、雪崩地などに成立する群落	強風砂礫地では、コマクサ、タカネスミレ、ウルップソウ。雪田の底ではコムススキ。崩壊地ではイワツメクサ、オンタデ、イワスゲなど
	森林限界	亜高山針葉樹林の上限。ここより上がハイマツや高山植物の生育する高山帯となる	
亜高山帯	亜高山針葉樹林	針葉樹からなる丈の高い森林。亜寒帯林に相当する	本州ではシラビノ、オオシラビノ、コメツガ、トフビ。北海道ではホドマツ、エゾマツなど
	岩尾根、露岩地の針葉樹林	痩せた岩場などに現れる樹林。蛇紋岩地や新しい溶岩上などでは低木化することも少なくない	ネズコ、コメツガ、ヒメコマツなど
山地帯	高茎広葉草原	高山帯の高茎草原とほぼ同じ丈の高い群落だが、種類が多い。雪崩地によく発達する	シナノキンバイ、ミヤマキンボウゲ、クルマユリ、トウヒン類、トリカブト類、アザミ類など
丘陵帯	落葉広葉樹林	冷温帯に相当する森林。夏に緑になり、冬に落葉するため、夏緑林とも呼ぶ	ブナ、ミズナラ、カエデ類。谷筋ではカツラ、トチノキ、サワグルミ、シオジなど
	常緑広葉樹林 (照葉樹林)	暖温帯にあたる森林。一年中緑を保っている	アカガシ、アラガシ、スタジイ、タブノキなど

気候変動と現代文明

～温暖で安定的な気候のもとに成り立っている現代文明～

- 氷河時代の気候は気温が低かっただけでなく、年ごとの変動が大きかった。1年から数年の短い間で 7°C 変化するようなことが度々起きていた
- この変化は地球温暖化に関してIPCCが予測する、今後100年で 5°C 上昇、と比べても極めて急激で激しい変動
- 現生人類が世界中に拡散した5～6万年前から最終氷期の終了までの期間は、気候変動が激しく農業には不向きな時期であり、人類は狩猟生活をしていた
- 最終氷期は1万6000年前に終了し、非常に短い期間に地球は温暖化し、また年毎の温度変化が小さい極めて安定的な気候になった
- 人類が農耕を始めたのは、気候が安定化してからで、「安定した気候」という前提の上で、70億人を養う農業が成立し、現代文明が成り立っている



気候変動と現代文明

～再び気候変動の激しい時代になるのか～

- 過去の気候変動の歴史に照らせば、気候変動が再び大きくなることは十分あり得る。いつそうした変動の激しい気候に代わるかは全く予測できない
- 人類活動による**温暖化ガスの増大は、寒冷化をストップさせている**という面はあるが、20世紀後半以降の増加スピードは、**自然に起こる増減のスピードに比べて桁違いに早く**、温暖化の原因になっている。この温暖化が気候変動の激しい時代が変わる「**相転移**」の引き金になるのか
- 人類は安定的な気候という地球史的にみれば特異な状態の下で文明を発展させてきた
- また火山の冬をもたらす超巨大噴火もほとんど経験していない
- 人類の文明の歴史は5000年に過ぎない**
- 気候が大きく変動する時代なった場合、人類はどう対応するのだろうか

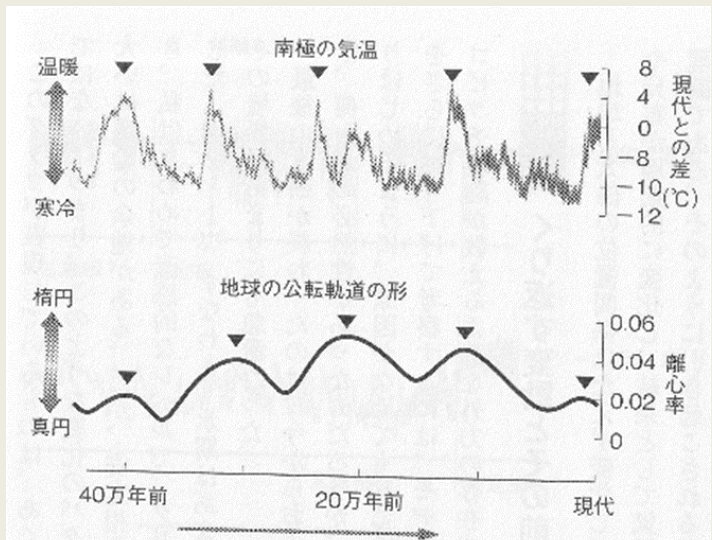


図2.4 地球の公転軌道と気候の関係
公転軌道のいわゆる「離心率変動」が氷期のタイミングを決めていることは確かなようだ。だが、下のグラフが左右対称のきれいな波形であるのに対し、上のグラフは非対称の複雑な形をしており、両者の関係は単純ではない。

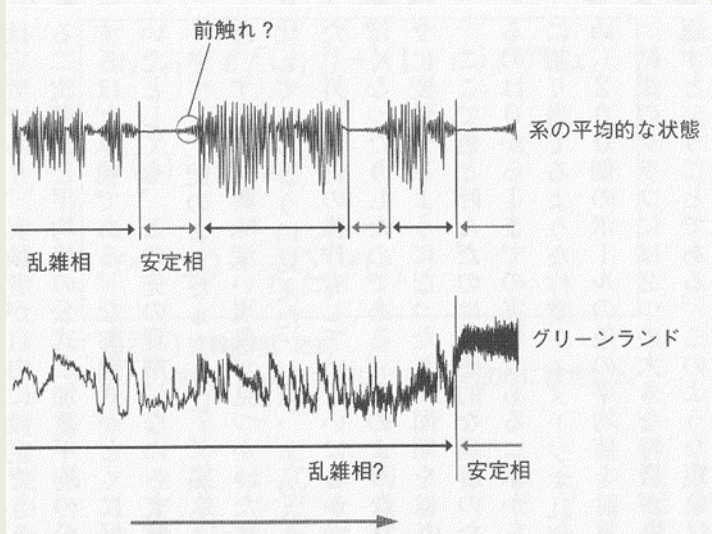


図2.3 実験の結果①
外からまったく手を加えなくても、全体の状態は2つの状態の間を飛び歩くように変化した。比較のため、下段にはグリーンランドの気候変動を示した。

参照・引用図書

「日本の山と高山植物」 小泉武栄
「自然を読み解く山歩き」 小泉武栄
「山の自然学」 小泉武栄
「山歩きの自然学」 小泉武栄
「徹底解説 地球のしくみ」 新星堂出版
「図解雑学 地球のしくみ」 児玉浩憲
「山が楽しくなる地形と地学」 広島三朗
「日本列島の誕生」 平朝彦
「超火山「槍・穂高」 原山智十山本明
「日本の地形」 貝塚爽平
「地球の内部で何が起きているのか」平朝彦他
「フォッサマグナってなんだろう」 フォッサマグナムミュージアム
「地層の見方がわかるフィールド図鑑」 青木正博 目代邦康
「地形がわかるフィールド図鑑」 青木正博 目代邦康 澤田結基
「Newton」 ニュートンプレス
地球の歴史(上中下) 鎌田浩毅
日本列島100万年史
破局噴火 高橋正樹
地球を突き動かす超巨大噴火 佐野貴司
山はどうしてできるのか 藤岡換太郎
川はどうしてできるのか 藤岡換太郎
海はどうしてできたのか 藤岡換太郎
三つの石で地球が分かる 藤岡換太郎
日本海 蒲生俊敬
人類と気候の10万年史 中川毅