

氷河・埋没林・サンゴ礁

小 西 健 二

富山県には、みなさんの誇りとする郷土の宝物がたくさんあります。今回は、そのなかでも、今から一万年ほどの間の気候の歴史にかんするものを選び、お話することにします。

立山連峰のカル群

まず最初に、富山平野の東を縁どり、美しい稜線をえがく、立山連峰の頂にある、「氷河の化石」ともよばれているカルからはじめましょう。カル(圏谷ともいう)は、第1図のように、むかしの氷河が消え去ったあとにできる、氷河が岩石をけずってつくったくぼみです。

立山連峰に登山して、カルがあることを現地でも実証されたのは、山崎直方(当時34才)という先生で、明治34年(1904)に、針ノ木峠をこえて立山に登る途中のことでした。この山崎先生の発見を記念して、室堂の近くのカルに山崎圏谷という名がつけられました。この名付け親は、富山大学の前身、旧制富山高等学校の石井逸太郎先生で、先生は、山崎先生の御弟子さんの辻村太郎先生や大関久五郎先生の、そのまた御弟子さんで、いわば孫弟子にあたります。山崎先生は薬師岳あたりのカル群にも気付かれましたが、その後の石井先生や深井三郎先生(富山大学名誉教授)がたよる詳しい調査のすえ、今までに次のことがわかりました。

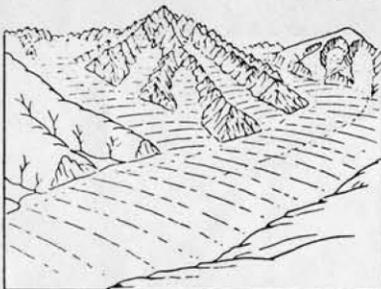
立山連峰のカル群は、ほとんどのものが海拔2,500~2,600mあたりの、東むきと北むきの

斜面に集中しています。それは偏西風の強い気象状況で、降った雪がこおり氷河になったためとされています。カルの底や末端には、氷河が運んでつくった、氷堆石(モレーン)とよばれる礫や砂の層からなる低い小山もみつかりました。

風化や侵食のはげしい高い山の上で、こんな地形が、こわされずに残っているということは、そう遠くない昔に、立山連峰をはじめ日本アルプスのような山岳地帯の谷を小規模ながら氷河が流れていたことを教えてくれます。その動かざる証拠こそが、立山連峰のカル群なのです。同じ地形は、北海道の日高山脈や南アルプス連峰からもみつかっています。仮にそのような時代を氷河時代とよぶことにします。さて、氷河のもとになる雪が一年中とけずに残る高さを結んでできる線を雪線といえます。今は、氷河がどこにもない日本アルプスの雪線は、空中の海拔4,000m位のところに考えられています。しかし、立山連峰のカル群のできた氷河時代には、雪線は2,500~2,600mよりも低かったはずで

ところで、このような氷河をつくるには、たかさんの雪と乾燥気候が必要です。その雪の材料の水は、どこからきたのでしょうか。もちろん、それは海水の主成分の水からで、海から蒸発した水蒸気のつくる雨・雪が氷河の原料です。ですから氷河ができれば海水の量は減ります。つまり立山連峰に氷河のあった当時の海面は、今より低く、陸地は今より広がっていたはずで

海水の冷凍貯蔵庫である大陸型の氷河は、今では南極大陸やグリーンランドなどにしかありませんが、その頃は、ヨーロッパ大陸や北アメリカ大陸の北部をひろく被っていました。そして、ハワイや台湾の高い山の頂にも、立山連峰同様に、谷型の氷河があ



第1図 氷河の化石、カル(圏谷)

氷河の流れていた(左)あとにできたくぼみ(右)

りました。当時の富山湾の海岸線は、今はかなりちがいが、ずっと沖の方にあり、いま大陸棚とよぶ浅い海の底の大半は、ところどころ川や谷にきざまれた、海岸平野のようだったことでしょう。

富山湾南岸の海底埋没林

ここで話を、山から海へ移します。というのも、実は、上にのべたような考えを裏づける証拠が、富山湾の海底からみつかったからです。それは昭和5年(1930)のことでした。魚津の港の岸壁の修理工事中に、たまたま海面から1mほど下で、立木の幹が何本もみつかりました。昔陸地であったこととなります。この発見の重大さに気付かれた石井先生は、地元の魚津中学校の山家基治先生・富山高校の同僚の今村外治先生など多数の協力をえて、早速に詳しい調査をはじめられました。その後調査がひろがるにつれ、似たような太い樹幹の立木の化石は、富山湾の南岸沿いの数地点からもみつかりました。たとえば、泊・神通川河口・四方などです。そして、石井先生は、魚津の埋没林のお仕事をまとめられて、昭和29年(1954)に、理学博士の学位論文とされました。ところで、みなさんは、昨年の夏に、魚津にちかい吉原の沖の深さ40mもの海底から、今より10,150年前のトチノキヤシデの埋没林がみつかり、テレビ・新聞などのニュースになったことを覚えているでしょう。これも魚津の埋没林と同じように、今の富山湾の海底が陸地であったことを証明する大切な証拠として注目をあびたわけです。とくに、この約1万年前という立木の化石の古さが話題でした。言い忘れましたが、海面下1mの魚津の埋没林の古さは、今から1960年前前でして、それに比べて、非常に古いことがわかるといいます。この埋没林については、富山大学の藤井昭二先生が詳しい研究を続けておられます。

ニュースのときもそうですが、こういう今から何年前という化石の古さの話を目にすると、みなさんは、「一体どうやって測ったのかな?」「どんな時計を使ったのだろうか?」と不思議に思いませんでしたか。

実は、これは化石のなかにごく僅か含まれている放射能をはかって、化石の古さをもとめるという方法を使ったので、石井先生が魚津の埋没林の論文

をまとめられた直後の、昭和30年頃から、日本をはじめ世界で、その実用化がはじまりました。次にこの方法のあらましを学ぶことにします。

放射能時計とは

みなさんが、理科で習う、水素や炭素という元素それぞれには、放射能をもっていて、ほかのものに変わってゆく、放射性同位元素(ラジオアイソトープ)と、放射能をもたず、ほかのものに変わったりしない、安定同位元素(安定アイソトープ)とがあります。同じ元素ですから、ほかのものと反応する性質などは変わりませんが、(1)放射能をもつか、もたぬかという性質と(2)原子の重さ(原子量)に、ほんの少しのちがいがあります。

いま炭素を例にしますと、炭素の原子量は12.011と教わったと思いますが、地球上の自然の炭素原子は、圧倒的に多い原子量12の放射能をもたない炭素(これから簡単にするため、炭素12と書きます)のほかに、同様に放射能をもたない原子量13の、炭素13が98.89対1.11という割合でわずかばかりまざっているため、きっちり12という割りきれた数にならないのです。このほかに放射能をもつ炭素14が、0.0000……という数字でやっとあわせる位、ほんのわずかですがまざっているのです。あとで詳しくお話ししますが、このやっかいな炭素14の放射能のおかげで化石の古さが測れるのです。

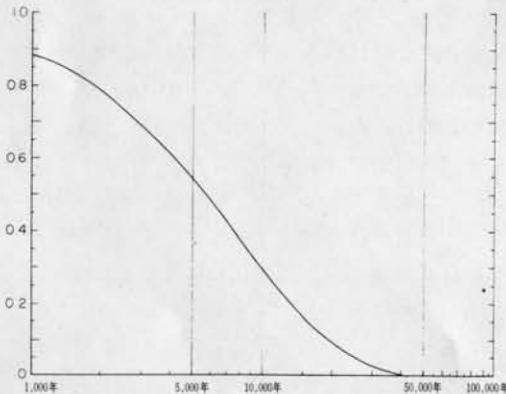
放射能という性質は、病気の治療につかうラジオアイソトープなどで、今まで耳にしていることと思います。大変に不思議な性質で、外からエネルギーをくわえなくても、ある放射性同位元素が、ひとりでに、ほかのものに変わってゆき、その時に放射線とよばれるエネルギーを出します。出す放射線には、アルファ線、ベータ線、ガンマ線の3種類があって、どの放射性同位元素が変る(専門の言葉では壊変 - こわれて変わってゆく - といいます)かで、どの放射線を出すかがきまっています。きまっているといえば、壊変は、全く目茶苦茶に、きまぐれにおこるのではなく、ある一定の割合ですすみます。ふつう、変るまえの放射性同位元素を親、放射線を出して、壊変してできる原子を娘とよびますが、親から娘ができる割合に規則(法則)性があります。親がはじめの半分まで減って娘になってしまうまでかか

る時間を半減期といいますが、この半減期というものが、放射性同位元素ごとにみな決っているのです。

第2図は親が半分、そのまた半分、そのまた半分と次第に減ってゆくの、どれだけかかるかを、半減期の何倍になるかで示したものです。この場合、もともと8つ(原子数)あった親が、今では、1つ(原子数)しか残っていません。

第2図 放射能時計のりくつ
黒丸は親の原子、白丸は娘の原子、この図から半減期の3倍かかって、はじめ8ヶの親原子が1ヶまで減ったことがわかる。

いいかえれば、娘がいくつできたかと、親がもともといくつあったかがわかれば、その数と半減期から、それまでにかかった時間が、半減期の何倍か、という簡単な計算で出せるわけです。実際に、この原子数の減りかたを炭素14を例にグラフに書いてみると、第3図のようになります。この場合、グラフの縦軸は放射能のつよさで示してあります。横軸は時間(この場合、年)です。グラフをみて、現在に近いところと、ずっと古い昔のところは、カーブがほとんど横にねてしまっていて、間のところだけがかなり斜にたっていることに気付くと思います。横にねているところは、時間のわりに放射能の変化が少ないところですから、いいかえますと、このあたりでは、放射能がわかって、



第3図 炭素14放射時計のグラフ

放射能の時間(年数)による変化。横軸、時間(年数)がたい数目盛であることに注意して下さい。

その放射能のしめす年数が正確にはもとめにくいといえます。つまり、時計が不正確というか、信頼度が落ちるといえます。一方、斜にたっているところでは、放射能がわかれば、それまでにかかった年数が正確にわかるという訳です。ふつうこの範囲は、半減期の約1/10から4~5倍とされています。半減期が5,730年の炭素14でいえば、大体500年から25,000年位までの古さのものが正確に測れることになります。以上が放射能をつかう時計の原理のあらましです。この時計のもつ、ばつぐんの性能に、温度や圧力が高くて低くても、ねじまきや電気などの力をかりずに、いつも同じ速さで、正確に時を刻むほかに、測ろうとする目的にみあった半減期のものをえらべば、1秒以下という短かい細かな目盛も、何億年という、一寸気の遠くなるように長い目盛も、長短よりどりみどりでえらべるということがあります。

このあとの方のことは、私たちの日常のくらしのように、いつも一つだけ時計をもって済ますかわりに、それぞれちがった速さで進む時計がおいてある棚から、目的ごとに、ちがった時計をえらんで使うのだと思えばよいのです。

化石の古さをはかる炭素14時計

これまでに、炭素14(放射性炭素ともいいます)で、放射能時計のりくつを学んできましたが、いよいよ実際の例の話にはいりましょう。大気のかなかの二酸化炭素(炭酸ガス)が、陸上にはえている植物が生きていくためにかせないことを知っていると思います。丁度酸素がないと私達をふくめて動物が生きていけないのと同じです。

植物は、自身のなかにもつ葉緑素をつかい、この二酸化炭素と水と太陽からの光を材料に炭水化物を合成します。(炭酸同化作用とか、光合成とかよばれています)。つまり、大気のかなかの二酸化炭素をつくる炭素は、こうして、植物の細胞壁をつくる炭水化物(ここではセルローズというもの)のなかにとりいれられていきます。

この場合、大気中の二酸化炭素をつくる炭素には、炭素12のほかに炭素13、そして炭素14がある割合で含まれていますので、植物のつくる炭水化物のなかにも炭素14は入ってきます。そして植物が

じにするように、大気中の二酸化炭素から送りこまれています。ところが、この植物が何かの理由で、死んでしまうと、もう、光合成はできませんから、大気からの炭素14の補給はなくなり、植物のなかの炭素14は減りはじめます。その減り方は、前にのべた放射能の法則に従いますから、植物の化石にのこる炭素14の量を、放射能で測れば、その植物が死んでから何年たったかという、化石の古さがわかるのです。富山湾南岸の埋没林をつくる立木の化石の古さは、この方法で測ってきめたものです。

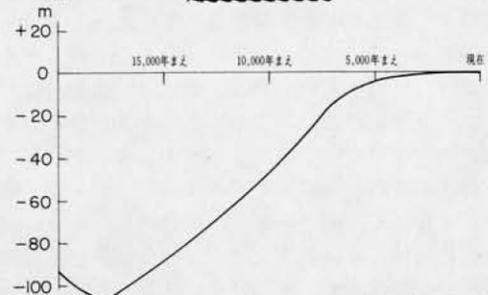
この炭素14の時計は、海にすむ動物や植物で、炭酸カルシウム（石灰分）のから（骨格）をもつものにもつかえます。この場合は、海水のなかにとけている炭素をふくむ物質（まとめて炭酸物質とよんでいます）のなかの炭素14が、からの炭酸カルシウムのなかに入ってくるので、化石のからのなかの炭素14の量を放射能ではかれば、その化石の古さがわかるというりくつです。炭素14の時計は、木や貝の化石のほか、昔の人のつかった道具とか住いのあと、さらには古文書・衣類などの古さをきめるのにも役立ち、考古学や人類学といわれる学問の分野でも大活躍です。この方法を実用化するため苦心されたアメリカのリビーという先生は、そのお仕事に対し、昭和35年（1960）ノーベル化学賞を受賞されているほどです。

さて、少し道草をくってしまいましたが、また富山湾にもどることにします。では、炭素14時計で富山湾の埋没林をはかった結果から、どんなことがいえるでしょう。今は海面下のところも、それは昔は林のはえていた陸であったという、昔が、どの位昔であったか、はっきりとした年数で教えてくれます。しかも、10,000年前には、今の海面から40m以上深いところに、海岸線があった、6,000年前には、3m以上、2,000年前には、1m以上と、まだ、記録が少ないとはいえ、どうも、古いほど海面が低く、今に近づくにつれ、海面が次第に上ってきたのではないかと思わせます。もちろん海岸線をしらべるのですから、陸上の林の記録ばかりでなく、同じ頃、反対の海底にすんでいた動物の記録も必要です。こうして陸と海の両側からせめて、海岸線のあったところが次第にわかってくるのですが、富山湾では、海側からの証

拠がまだ少なく、これからの海底の調査に期待されています。

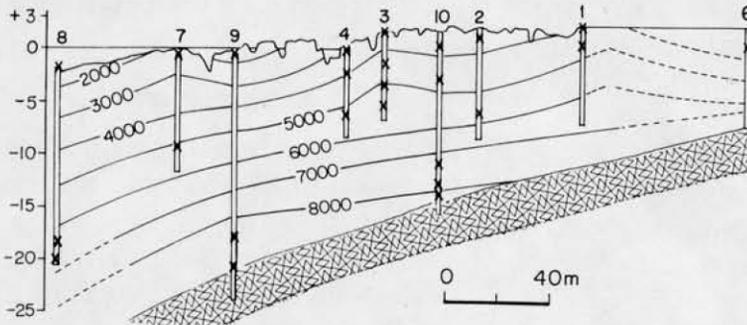
海面変化曲線

ところで、富山湾で海面が10,000年前に今の海面より40m以上も深いところから、次第に上ってきたのなら、海は世界中、どこも一つづきですから、きっと、日本のほかのところの海岸でもあるいは外国の海岸でも、同じような記録がよみとれるはずですが。地球全体であたたくくなって氷河がとけて海水の量がふえ、海面が高くなってくる。この海面の高さを年代順にさかのぼってもとめ、結んだ線を、海面変化曲線といいます。第4



第4図 過去20,000年間の海面変化曲線(外国の例)
図はその例です。このグラフは氷河のとけた割合もあらわしているはずですから地球全体の気温の変化もあらわしていることになります。

ところが、こういうグラフを世界各地でつくって比べてみますと、場所により少しづつちがうことがわかりました。そのちがうわけは、海底がじっとしていないで、上ったり、下がったり—地盤隆起・地盤沈下（あわせて地殻変動といいます）—したためです。つまりもともと同じ深さにあった5,000年まえの海岸線が、その後5,000年間の地殻変動で、海面下5m、海面すれすれ、海面上5m、といった具合に、ちがってしまったのです。こうして世界中で、過去10,000年位の間に、土地が隆起しているか、ほとんど動かなかったか、あるいは沈下しているかが海面変動曲線の研究からいえるようになりました。また、沈下や隆起の速さ（スピード）も1年に何mmの割合という数字であらわせることになりました。そして地球の表面をおおう海面の変化の歴史をしらべることから、その下の海底の地殻変動まで知ることができるようになったのです。



サンゴ礁

さて、いよいよ、最後の話題に入ろうと思います。みなさんは、鹿児島県南部と沖縄県下の琉球列島や、東京都の小笠原群島の島をふちどるサンゴ礁を知っていますね。あの天然の防波堤のサンゴ礁は、赤道の両側の熱帯・亜熱帯の暖かい海、しかも海面近い浅いところにしかありません。それはサンゴ礁をつくる主な生物の造礁サンゴという動物が暖かい海にしかすめないことと、この動物が成長して炭酸カルシウムの骨格をつくっていくためには、太陽の光をいっぱいあびる必要があるからです。ですから、いまはサンゴ礁にかこまれる沖縄や小笠原も、立山連峰に氷河のあった氷河時代にはサンゴ礁が育ちませんでした。それが気温も水温も次第に暖かくなり造礁サンゴが着生し、海面がゆっくり上ってくるにつれ、イシサンゴも上へ上へと成長をつづけて、全体で20mもの厚さになったのがサンゴ礁です。もっとも下の方は死んで化石となつて、一番上の生きてるところをささえています。まるで1階から2階、3階というふうにだんだんと高くなってゆく、ビルディングのようなものです。

いま、ビルディングを1階、2階とわけるようにサンゴ礁を同じ時代にできたものごととわけてみることにします。それには、ボーリングといって、サンゴ礁に細長い円筒状のたて穴をほりさげて、そのなかの円筒状の岩石を採集しました。場所は、鹿児島県奄美大島のすぐ東にある喜界島です。そして、この岩石のなかにたくさん入っている造礁サンゴの化石の古さを埋没林と同じように、炭素14で測りました。そして、同じ古さのところを、1,000年おきの線で見ると第5図のような図がかけます。予想したとおり海面が次第に上ってゆくにつれ、サンゴ礁が上へそだってきたことが証明できました。そして1,000年ごとの海面の変化もはっきりとしてきました。富山湾よりも

第5図 サンゴ礁のそだち方
一番上の数字はボーリング地点の番号、×印は炭素14時計ではかったイシサンゴ化石のとれた場所；今から8,500年前頃からサンゴ礁が上へむかって次第に重なりそだってきた。

細かく海面の変化をよみとることができたのはサンゴ礁が昔の生物の骨格そのものが集ってできているからで、骨格をつくる炭酸カルシウムのなかの炭素14で年代をはかることがたやすいことにもよります。

紙面の都合で、わたくし自身が20年近く調べているサンゴ礁の御話をはしよらなければならず残念です。いづれ別の機会に、あらためてサンゴ礁についてゆっくりお話することにします。

さいごに

昭和55年は、石井逸太郎先生が、剣岳の調査中、劇的な最後をとげられてから、丁度25年目にあたります。先生は、いままでにお話した立山連峰のカル群と魚津の埋没林という、富山県が世界にほこる国宝の研究に生涯をささげられました。この宝を文部省特別天然記念物に指定するため力をつくされました。そんなわけで、今回は、みなさんといっしょに、この郷土の学者のお仕事をしのぶとともに、この25年間にすんだ「放射能をつかう化石の古さのはかり方」について学びました。

高い山の頂上にのこされた氷河のあと、海の底の化石林、そして南の海のサンゴ礁という、ちょっと考えると、はなればなれのもののなかに、昔の気象そして海面の高さの歴史という共通の絵解きをする記録がのこされていることがわかっていただけたかと思います。それから、こういう研究も化石の材や骨格のなかの放射性同位元素をしらべるといふ、化学と地学の協同作業でできた新しい分野のおかげで進んできたことも覚えておいて下さい。

ふつう物理・化学・生物・地学などに分けられている理科のなかで、この例のように、部門間の協同作業が、新しい分野を發展させるのに役立つということがよくあります。部門のさかいは、人間がつくったもので、自然にはないものですから、あたりまえかもしれません。

〈こにし けんじ 金沢大学理学部教授〉