



高レベル放射性廃棄物の
地層処分研究開発特集

地層科学研究

5. 地質環境の安定性に関する研究

中部事業所 環境地質課

資料番号: 85-19

Geosciences Research

5. Studies on Long-Term Stability of Geological Environment

(Waste Isolation Research Section, Chubu Works)

地質環境の長期的な安定性を評価するためには、さまざまな天然現象が地質環境に与える影響を考慮する必要がある。わが国においてとくに重要な天然現象として、①断層運動/地震、②隆起/沈降/侵食、③火山活動さらにこれら以外にも④気候変動/海面変動、隕石の衝突等が挙げられる。これらの天然現象について、わが国における発生の可能性や規模・規則性・地域性等の特徴を把握するため、地球科学の各分野に蓄積されている情報の収集・整理を行った。これまでの調査によって、各現象の過去における発生の規模や地域性等を、概括的に把握することができた。

1. はじめに

地質環境の長期的な安定性を評価するためには、(1)地質環境の安定性に影響を及ぼす可能性のある現象は何か、(2)それらの現象が起こる可能性はどの程度か、(3)それらの現象が起こった場合の影響はどの程度か、(4)それらの現象が起こる可能性や影響の程度にどんな規則性があるか、等を把握する必要がある。このような観点から、本研究では、地質環境の安定性に影響を及ぼす可能性のある天然現象について、日本における発生の可能性や規模(影響の程度)・規則性・地域性等の特徴を把握することを目的として調査を行っている。

地質環境の安定性に影響を及ぼす可能性のある現象については、IAEA¹⁾やOECD/NEA²⁾等が全般的な視点からリストを作成している。日本は、環太平洋造山帯の一部をなす弧状列島であり、安定大陸に位置する欧米諸国に比べて、地殻変動、地震活動、火山活動等が、より活発である。日本においては、このような日本列島の地質あるいは地理上の位置に起因する現象に対して、特段の注意を払う必要がある。また、汎地球的な現象である気候変動およびこれに伴う海面変動も、周囲を海に囲まれた日本において考慮すべき重要な現象といえる。このような観点に立って上記のリストから、わが国における

地質環境の安定性を評価する上でとくに重要な現象として、以下の項目を抽出した。

- ①気候変動/海面変動 ②断層運動/地震
- ③隆起/沈降/侵食 ④火山活動

本研究では、これらの各現象について、地球科学のそれぞれの分野に蓄積されている知識や情報の整理およびこれに基づく解析を行ってきた。

気候変動/海面変動については、主に氷河の消長を伴うような地球規模での変化に関する情報の整理を行った。そのほかの現象については、主に第四紀(約160万年前～現在)の日本列島における活動に関する情報を整理した。隕石の衝突に関しては、隕石の衝突跡と考えられるクレーターについての研究事例を整理した。これまでの調査によって、各現象の過去における活動の規模や地域性等を、おおまかに把握することができた。ただし、本研究の最終目標である地質環境の安定性を評価するためには、各現象の将来における活動や変化を予測する必要がある。そのため、今後は、各現象の時間的・空間的变化に着目したより詳細かつ信頼性の高い情報の集積とこれに基づく解析が必要である。また、将来変化を予測するための手法についても検討する必要がある。

各天然現象について、これまでに得られた主な知

見を次項以下にまとめる。

2. 断層運動/地震に関する研究

日本列島には多数の断層が存在するが、それらはすでに活動を停止した断層（地質断層）と最近の地質時代に繰り返し活動し今後も活動する可能性のある断層（活断層）に区別される。

本研究では、主に活断層に注目して情報の整理を行ってきた。これまでに得られた主な知見を以下にまとめる。

(1) 地震活動

地震は断層運動に伴って発生すると考えられているが、実際には個々の地震に対応する断層の変位が地表に現れることは少ない。地震に伴って地表に現れた断層は地震断層と呼ばれる。これは、比較的震源が浅くまた規模が大きい場合に、地下の断層運動の変位が地表に達したものである。地震断層の多くは既存の活断層が再活動したものであるが、松代地震断層は、群発地震に伴って、それまで断層が存在しなかった場所に新たな断層が出現したきわめて特異な例とされている¹¹⁾。

地下における地震動の影響を把握するため、現在、岩手県釜石鉱山の坑道を利用して地震観測を実施中である。これまでの結果では、地下百数十m以深で観測される地震動の加速度振幅は、総じて小さく、地表の約1/2であることが確認されている¹²⁾。

(2) 日本列島における活断層の分布

日本列島に分布する活断層を全国規模的に同一基準で抽出した資料としては「日本の活断層」¹³⁾がある。これは、主に空中写真の判読によって活断層の可能性のあるリニアメント（線状模様）を抽出し、それが活断層である可能性の大小によって確実度Ⅰ（活断層であることが確実なもの）、確実度Ⅱ（活断層と推定されるもの）、確実度Ⅲ（活断層の可能性のあるもの）に分類したものである。同資料に記載された活断層（確実度Ⅰ～Ⅲを含む）は、2000本程度存在する。その分布密度は場所によって大きく異なり、数十kmの範囲に全く活断層が存在しないところもあれば、一方で10本以上の活断層が密集しているところもある。分布密度の高い地域は、近畿三角地帯と称される牧賀～鳴門海峡～伊勢湾口に囲まれた地域、糸魚川～静岡構造線以西の飛騨～木曽～美濃地域、東北地方中央部の脊梁山脈、四国～九州の中央構造線沿い、伊豆～箱根地域等である。逆に、東北日本の太平洋側や四国～紀伊半島の太平洋側等では、活断層の分布密度は低い。活断層の方向は、おおまかに見れば、日本列島の形に沿う方向が優勢で、

東北日本では南北～北東～南西方向が、西南日本では東西～北東～南西方向が卓越している。分布密度の高い近畿三角地帯や飛騨～木曽～美濃地域では、日本列島の方向に斜交する活断層も発達している。

(3) 断層による変位

断層によるずれ（変位）の大きさは、大規模なものでは1000mを超えるものがある。ただし、1回の活動による変位は数十cmからせいぜい数m程度であり、大規模な変位は、非常に長い期間にわたって断層運動が繰り返された結果である。活動の様式が同じであれば、活動期間が長いほど累積変位量は大きくなる。したがって、断層運動の激しさ（活動度）は、一般に一定期間における変位量すなわち平均変位速度（m/千年）で表わされる。日本の陸上部では、四国東部で5～10m/千年の平均変位速度をもつ中央構造線の活動度が最も高いとされている¹⁴⁾。また、いくつかの断層（平山断層等）では、第四紀における平均変位速度が時期によって変化していることが指摘されている¹⁵⁾。

「日本の活断層」によれば、日本の活断層の平均変位速度は、0.01～10m/千年の範囲にあり、その大部分が5m/千年以下である。平均変位速度が5m/千年を上回るものは、火山性の断層を除けば、中央構造線系や糸魚川～静岡構造線系等ごくわずかである。

3. 隆起/沈降/侵食に関する研究

日本列島における現在の隆起・沈降に関しては、過去百年程度の測地学的データ（水準測量や三角測量のデータ）があり、これによってその間の変化を追跡することができる。また、地形学および地質学的手法によって、第四紀における隆起・沈降量が見積られている。一方、侵食に関しては、ダム等の特殊な地域における現在の変化に関する情報しかなく、過去の変化を時間的にとらえることは困難である。

第四紀および現在における日本列島の隆起・沈降ならびに現在の山地部における侵食について、これまでの調査研究で得られた知見を以下にまとめる。

(1) 第四紀における隆起・沈降

日本列島における地殻の上下変動に関しては、第四紀を通じての累積量が、地形学および地質学的手法によって見積もられている（図1）。それによれば、日本列島の大部分が第四紀を通じて数百m以上隆起しており、沈降した地域はごくわずかである。隆起が顕著な地域は、北海道の日高山脈、東北地方中央の脊梁山脈、飛騨～木曽～糸魚山脈からな

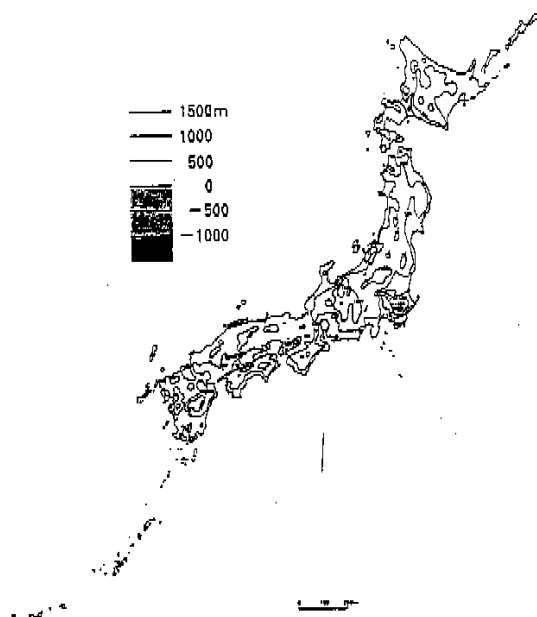


図1 日本の第四紀における上下変位量
(第四紀地殻変動研究グループ、1968による)

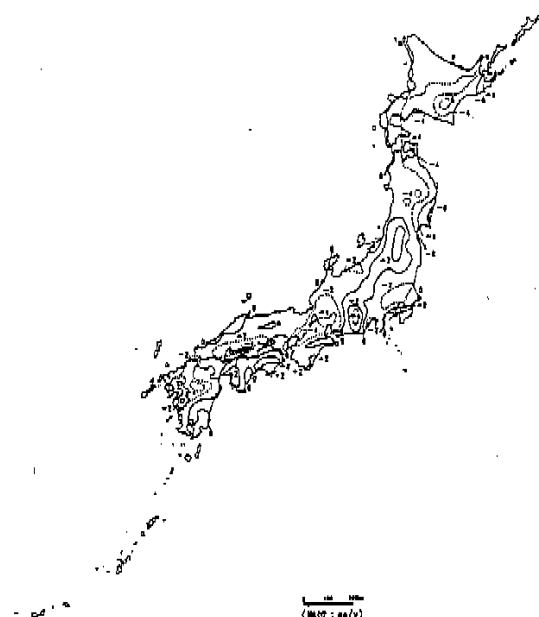


図2 水準測量から求めた最近70年間の上下変動
(植原、1971による)

る日本アルプス、紀伊山地－四国山地－九州山地を結ぶ地域、すなわち現在の山地と一致している。これらの山地の中央部における第四紀の累積隆起量は1000mを越えている。また、第四紀においてもその前半は低起伏時代であり、後半になって急激かつ等速的な隆起が始まったとされている¹⁶⁾。おおまかな数字として隆起期間を100万年とし、図1の第四紀における累積隆起量を隆起速度に換算すると、大部分の地域が数十cm～1m/千年となる。ただし、山地地域ではこれを上回る隆起速度が、また、平野部ではこれを下回る隆起速度が想定される。

最近の研究では、従来の山地の隆起速度や形成期間について再検討がなされており、いくつかの山地については数m/千年の隆起速度が見積もられている^{17),18),19)}。

(2) 現在における隆起・沈降

日本列島における現在の隆起・沈降については、水準測量から求めた70年間の上下変動量が知られている(図2)。これによれば、日本列島の上下変動は現在も引き続いており、そのパターンは、第四紀を通じての変動パターンと似ているといえる。

なお、現在における日本列島の上下変化は、海水面との相対的な位置変化によって表わされる。それには、陸地の構造的な上下変化だけでなく、水河の消長に伴う海水量の変化等の影響が含まれていると考える必要がある。実際に、海岸地域における潮位

観測によれば、海水面は世界的にみて過去100年間で約12cm(年間約1mm)上昇したとされている²⁰⁾。この世界的な変化は海水量の変動を表わしていると考えられる。したがって、陸地の構造的な上下変化だけを見る場合には、その影響を除く必要がある。

(3) 現在における侵食

地殻の隆起・沈降に関しては、地形学や地質学的な手法によって過去における変化を推定することが可能であるが、侵食については過去の変化をとらえることが非常に難しい。現在のところ侵食に関しては、ダム等の特殊な場所における現在の情報しかない。それらによれば、日本の山地における現在の平均的な侵食速度は、0.1mm/年のオーダーとされている^{21),22)}。

日本列島の各地における侵食速度をまとめたものとしては、Yoshikawa²³⁾の報告がある。これは、ダムに堆積した土砂の量とそれらがもたらされたと考えられる集水面積から侵食速度を求めたものである。その報告には、求められた侵食速度と第四紀における隆起量との関係(図3)が示されている。同図に示された侵食速度は、0.01mm/年から6.3mm/年の範囲にわたっているが、大半は0.1mm/年のオーダーである。第四紀の隆起量との関係をみると、隆起量の大きい場所ほど侵食速度が急激に大きくなっている。現在の地形の高低は、第四紀における隆起量を反映している。したがって、図3は、標

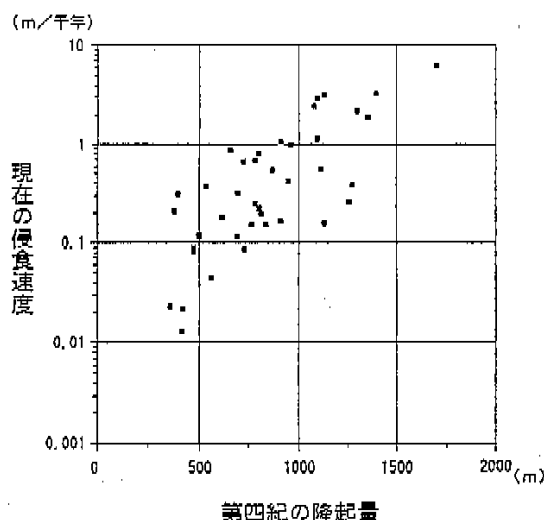


図3 現在の侵食速度と第四紀の隆起量
(Yoshikawa, 1974による)

高が高く、起伏が大きくなるにしたがって侵食速度が急激に大きくなることを示している。逆の見方をすれば、平野部等標高の低い地域における侵食速度は小さく、せいぜい0.01mm/年のオーダーあるいはそれ以下であると考えられる。ただし、第四紀を通じて日本列島の大部分が隆起していることから、現在標高の低い地域も将来的には隆起によって標高が高くなる可能性があると考えなければならない。

なお、侵食の速度は、地形のほか、岩石の種類や強度、植生、気候（とくに降水量）等の条件によって異なると考えられる。

4. 火山活動に関する研究

日本は世界有数の火山国であり、実際に世界の活火山の約1割が、世界の陸地の0.25%足らずの日本列島に分布している²⁴⁾。現在活動を停止している火山を含めると、日本列島に現存する火山(群)は200余りにのぼる。

本研究では、主として日本列島における火山活動の場とその時間的な変化に重点を置いて、既存の情報や知識の整理を行った。以下に、これまでに得られた主な知見をまとめる。

(1) 火山活動の規則性

火山には、ただ1回の噴火活動によってできた単成火山と、休止期をさきで噴火活動がくり返されることによって生じた複成火山とがある。単成火山の多くは群をなしており、ひとまとまりの単成火山群は、規模や寿命の点でひとつの複成火山に対応するとみなすことができる²⁵⁾。すなわち、マグマがほ

とんど同じ火道を通して噴出を繰り返すことにより形成された、比較的大規模な火山が複成火山であり、一方、1回の噴火毎に火道を変えることにより形成された、比較的小規模な火山の集まりが単成火山群であるといえる。火山活動の時間的な変化については、火山噴出物の量や年代に基づく調査が行われている。その結果、火山噴火の規模と噴火前の休止期の長さとの間には正の相関があることがわかってきた²⁶⁾。休止期が数千～数万年と長い火山ほど大噴火を起こす可能性が高く、数十～百数十年の短い休止期をさきで頻繁に噴火する火山は、大噴火を起こす可能性が低いと考えられる。火山の寿命については、単成火山が1回の噴火期間である数日からせいぜい数年であるのに対し、複成火山の寿命は数千年から数十万年に及ぶ^{27,28)}とされている。したがって、現在あるいは歴史時代の活動に基づく活火山・休火山・死火山といった分類は、必ずしも本質的とはいえない。長期的な将来を考える場合には、むしろ現存する火山(群)はすべて活動を起こす可能性があるとみなすべきである。

(2) 火山活動の場とその規制要因

日本列島における火山の分布は偏在的であり、いわゆる火山帯と称される地域にだけ分布がみられる(図4)。このような火山の分布は、プレートの位置と動きに密接に関係していることが知られている。例えば東北日本における現在の火山の分布は日本海側だけに限られており、太平洋側の火山の分布しない地域と明瞭に一線を画することができる。この一線は火山フロントと呼ばれ、太平洋プレートが東北日本の下に沈み込んでいる場所(日本海溝)と平行している。西南日本においては、火山フロントの存在は東北日本ほど明瞭ではないが、火山の分布は中国地方の日本海沿岸から阿蘇山～桜島を結ぶラインよりも大陸側に限られている。

なお、マグマの発生メカニズムについては、プレートの沈み込みに関連させたいくつかのモデルが提唱されているが²⁹⁾、結論は出ていない。

(3) 火山活動の場の時間的な変化

日本列島に現存する火山は、すべて第四紀に形成されたもので、それ以前の火山は火山体として地形的に確認することはできない。ただし、火山噴出物の分布と年代から過去における火山の分布を推定することは可能である。図5は、新第三紀の火山岩の分布と現在の火山の分布を重ねたものである。新第三紀の火山岩の分布範囲は、おおむね当時の火山活動地域を表わしていると考えられる。図5から理解できるように、現在の火山の分布は新第三紀の火山岩分布地域とほとんど一致している。この

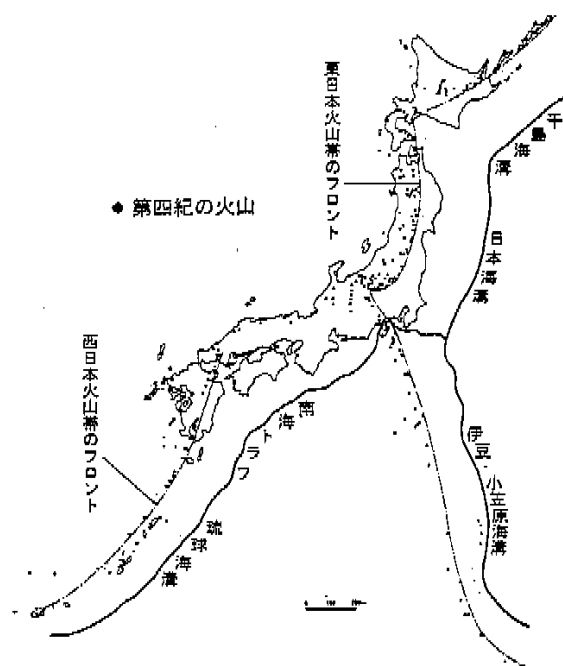


図4 日本の火山分布と第四紀の火山フロントおよび新第三紀火山岩の分布
(Tanaka and Nozawa (eds.), 1977, 地質調査所200万分の1地質図, 1990に基づき編集)

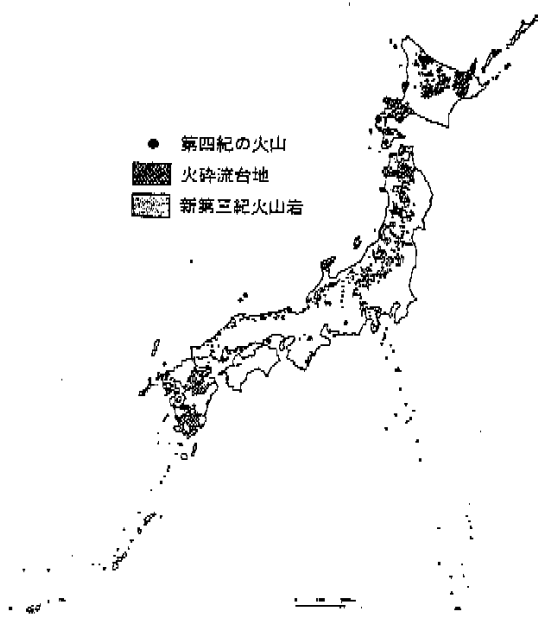


図5 新第三紀の火山分布と現在の火山分布

ことは、日本列島における火山活動の場が、新第三紀から第四紀にかけて大きくは変化していないことを示している。ただし、現在は火山が分布していない西南日本および東北・関東地方の太平洋側に、新第三紀火山岩の小規模な分布が知られている。これらは、1800～1200万年前頃に起こった火山活動によるものと考えられており、その原因については、日本海の拡大や四国海盆の沈み込みに関連づけた解釈がなされている³⁰⁾。

以上のことから、1800～1200万年前頃に太平洋側で特異的な火山活動があったが、それ以降、日本列島における火山活動の場は大きく変化していないといえる。

5. 気候変動/海面変動に関する研究

将来における気候変動およびこれに伴う海面変動を予測・評価するためには、過去の長期的な時間スケールにおける変化と現在新たに起こりつつある変化の双方に基づいて検討する必要がある。

本研究では、第四紀における地球規模での気候および海面の変化に関する研究事例を調査し、将来における変化を予測する上で参考とすべき情報の整理を行った。また、現在起こりつつある変化として、温室効果による温暖化現象についても、現状の知見を整理した。以下に主な点をまとめる。

(1) 過去の気候変動と海面変動

長期的時間スケールにおける地球規模での気候の変化は、大陸上に発達する氷河量の変化としてとらえることができる。地球は誕生以来46億年を経過しているが、その間、数回にわたって大陸上に大規模な氷河が発達した時期があった。これらは一般に氷河時代と呼ばれており、現在が属する第四紀もその氷河時代のひとつである。第四紀の氷河時代は、大陸に氷河が拡大する寒冷な時期（氷期）と現在のように氷河が後退する温暖な時期（間氷期）が、幾度かにわたって繰り返されて来たことがわかっている。氷期と間氷期の気温の較差は中緯度の大陸周辺で最大となり、年平均で約10℃に及ぶ³⁾とされている。氷河の消長を伴うような地球規模での気候変動については、今世紀後半以降、主として深海底の堆積物を対象とした研究によって優れた情報が得られるようになった。その結果、第四紀における地球規模の気候変動は、急激な温暖化と緩やかな寒冷化からなるパターンの繰り返しであり、とくに70万年前以降は、このような鋸歯状の変動パターンが、約10万年の周期で繰り返されて来たことがわかって来た（図6）。また、最近の変動については、12～13万年前に温暖期のピークがあって、これが1～2万年継続

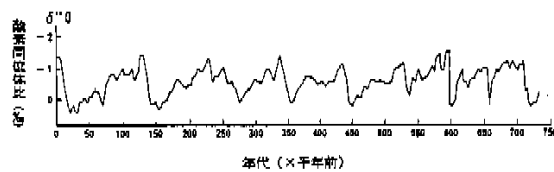


図6 過去70万年間の海底堆積物中の浮遊性有孔虫殻の酸素同位体化変動曲線

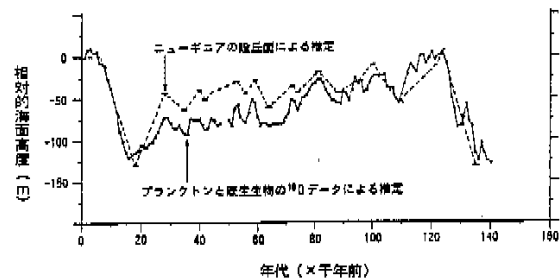


図7 過去13万年間の氷河性海面変化曲線 (Shackleton, 1987による)

続した後に寒冷化が始まり、約2万年前に最寒冷期に到達、その後約1.5万年前から急激な温暖化が始まり5000～7000年前にピークに達したことがわかって来た。この変化は、シャックルトン⁴⁾による氷河性海面変化曲線(図7)に良く表わされている。

寒冷期には北米や北欧の大半が氷河に覆われ、一方、温暖期には寒冷期に形成された氷河の大部分が溶けて海水となった。氷河は海から蒸発した水分が雪となって陸上に固定されたものである。したがって氷河が拡大する時期には、陸上に固定された分だけ海水の量は減少することになり、必然的に海水面の低下をもたらす。実際に、氷河が発達していた約2万年前の海水面は現在よりも120～140m低かった⁵⁾と推定されている。

上述したような過去における地球規模での変動パターンに基づけば、今後、地球の気候は、長期的には約10万年後に想定される最寒冷期にむけて寒冷化していき、それに伴い海面が低下していくと考えられる。最寒冷期における海水面は、現在よりも百数十m低下すると予想される。

(2) わが国における氷河の影響

気候変動による影響として、欧米諸国では、寒冷化に伴う氷河の拡大による影響が重視されている。実際に、過去における氷河の最拡大期には、北米大陸や欧州のほぼ北半分が氷河に覆われていたことが知られている。

わが国においては、氷河の痕跡は日本アルプスや北海道の日高山脈等、一部の高山地域でしか報告されていない⁶⁾。また、日本列島に新人(現生人類に継承される旧石器後期人類)が登場したのは2～3万年前であり、2万年前以降、遺物や遺蹟が全国的かつ多量に発見されている⁷⁾。当時は、地球規模で見れば、氷河サイクルにおける最寒冷期に相当し、地球上に氷河が最も拡大した時期である。このような情報から、日本列島は最寒冷期においても、高山地域のごく小部分以外は、氷河に覆われることはなかったと判断される。

(3) 温室効果による温暖化

過去何十万年にわたって繰り返されて来たと考えられる地球規模での気候変動パターンが、現在を境にして突然変化するとは考えにくい。変動パターンに変化を引き起こす可能性のある要因として、我々人類による影響を考慮する必要があると考えられる。

地球環境に関する最近の報告^{8),9)}によれば、二酸化炭素等の温室効果をもたらすガスの大気中濃度は、何の対策も講じなかった場合、21世紀半ばに工業化以前の約2倍に達し、それに伴い地球の平均気温が数℃上昇する可能性があると考えられている。

このような温暖化現象が長期化すれば、南極やグリーンランドの氷河が融解して、大規模な海面上昇が起こる可能性が想定される。現在の大陸氷河の量は、水量にして約2,400万km³とされている¹⁰⁾。これが全て融解した場合の海面上昇量を単純に計算すれば(現在の海面積で割れば)、約66mとなる。

6. 隕石の衝突に関する研究

本研究では、隕石の衝突によって生成したと考えられる地球上および月面のクレーターに関する情報を、クレーターの形状および隕石の衝突確率を把握するという観点で整理した。主な点を以下にまとめる。

(1) 隕石の衝突の記録

地球上に落下してくる隕石の大きさは様々であるが、小さなものは大気圏を通過する間に燃え尽きてしまい、地表には到達しない。一方、46億年の地球の歴史においては、巨大なクレーターを形成するような大規模な隕石の衝突が起こったことが知られている。隕石の衝突跡と考えられる、あるいはその可能性のあるクレーターは、地球上で百数十個が確認されている¹¹⁾。これらのクレーターは、欧米諸国等の安定大陸に集中している。このことは、隕石の衝

突によって形成されたクレーターの中には、その後の地形変化によって消滅したもの、あるいは未だ調査・確認されていないものが多数存在することを示している。

(2) クレーターの形状

隕石の衝突によって形成されたクレーターの形状については、主に月面上のクレーターを対象に研究がなされている^{32),33)}。それらによれば、クレーターの形状は、直径の小さいものから順に、おわん型クレーター・平底クレーター・中央丘をもつクレーター・多重リング状クレーター等に分類されており、規模が大きいものほど複雑な形状となることが知られている。また、クレーターの直径と深さとの間には正の相関があり、直径10数kmまでのクレーターでは、両者の比はおおむね5:1である。

(3) 隕石の衝突確率

地球に落下してくる隕石の起源については、火星と木星の間の軌道をまわる小惑星とする説が有力である。これらの小惑星の中には、近日点（太陽に最も近づく点）が地球の公転軌道の内側にくるような楕円軌道をとるものがある。このような小惑星（アポロ群小惑星と呼ばれる）は、現在のところ20個程度しか確認されていないが³⁴⁾、直径約700m以上のアポロ群小惑星の数を800±300個と推定している。このような小惑星の軌道が地球の公転軌道と交差する場合、長い年月の間には双方が接近し、小惑星が地球に捕獲される（衝突する）可能性が想定される。水谷³⁵⁾は、主要な10個のアポロ群小惑星について、地球への衝突確率を試算している。これによれば、アポロ群小惑星の地球への衝突確率は、それぞれ $0.64 \sim 14.84 \times 10^{-9}/\text{year}$ であり、平均は $4.46 \times 10^{-9}/\text{year}$ である。

一方、地球上で確認されたクレーターの個数から隕石の衝突確率を試算した例もいくつかある^{34),35)}。これらは比較的安定で調査の行き届いた地域を対象に、確認されたクレーターの数（一定規模以上のもの）と地域の面積および年代から試算したものである。これらによれば、直径10kmおよび20km以上のクレーターが生成する確率は、 $10^{-14}/\text{km}^2 \cdot \text{year}$ および $10^{-15}/\text{km}^2 \cdot \text{year}$ のオーダーである。

(中部事業所 環境地質課
清水和彦、石丸恒存)

参考文献

- 1) IAEA, Performance Assessment for Underground Radioactive Waste Disposal Systems, Procedures and Data, Safety Series, No.68, 37 (1985).
- 2) OECD/NEA Systematic Approaches to Scenario Development, Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories, 76 (1992).
- 3) 小林国典、永期、「地学事典増補改訂版」、平凡社、913 (1981).
- 4) Shackleton, N. J., Oxygen Isotope, Ice Volume and Sea Level, Quaternary Science Reviews, Vol. 6, 183-190 (1987).
- 5) 貝塚康平、特来子測と第四紀研究「百年・千年・万年後の日本の自然と人類」(日本第四紀学会編)、古今書院、4-19 (1987a).
- 6) 小澤 尚、山地・水河、日本第四紀地図解説 (日本第四紀学会編)、東京大学出版会、39-46 (1987).
- 7) (日本第四紀学会編)、東京大学出版会、94-100 (1987).
- 8) 真鍋誠郎、二酸化炭素と気候変化、科学、Vol.55、84-92 (1985).
- 9) 松野太郎、温室効果ガスの増加による気候変化の推定、科学、Vol. 89、583-592 (1989).
- 10) 成瀬 洋、第四紀、岩波書店、269 (1982).
- 11) 松田時彦、松代地質断層の地質学的性質、地質研究所報、45、537-550 (1967).
- 12) 駒田広也、佐々木俊二、その他、岩盤地下構造物の耐震性評価のための地下断層地質動特性、第13回西日本岩盤工学シンポジウム (1992).
- 13) 活断層研究会 (編)、新編日本の活断層、分布図と資料、東京大学出版会、437 (1991).
- 14) 松田時彦、活断層とネオテクトニクス—地殻変動の機構—、岩波地球科学選書「変動する地球—現在および第四紀」(笠原慶一・杉村新編)、岩波書店、89-157 (1991).
- 15) Ito, T., Uesugi, Y., et al, Analytical Method for Evaluating Superficial Fault Displacements in Volcanic Air Fall Deposits, Case of the Hiramama Fault, South of Tanzawa Mountains, Central Japan, Since 21,500 years B.P., Journal of Geophysical Research, Vol.92, No.B10, 10683-10695 (1987).
- 16) 藤田和夫、太田陽子、第四紀地殻変動、「日本の第四紀研究」(日本第四紀学会編)、東京大学出版会、127-152 (1977).
- 17) 大森博幸、四国山地の第四紀地殻変動と地形、「変動地形とテクトニクス」(米倉伸之、岡田靖正、森山昭雄編)、古今書院、60-88 (1990).
- 18) 貝塚康平、関東の第四紀変動、地学雑誌、96、223-240 (1987b).
- 19) Ohmori, H., Mean Quaternary uplift rates in the Central Japanese mountains estimated by means of geomorphological analysis, Bull. Dept. Geogr., Univ. Tokyo, 19, 29-38 (1987).
- 20) Gornitz, V., S. Lebedeff et al., Global Sea Level Trend in the Past Century, Science, Vol.215, 1611-1614 (1982).
- 21) 貝塚康平、変化する地形—地殻変動と海面変化と気候変化の中で、科学、Vol.39、11-19 (1989).
- 22) 杉村 新、島根の大地形・火山・地質、地球科学選書「変動する地球—現在および第四紀」(笠原慶一・杉村 新編)、岩波書店、159-181 (1991).
- 23) Yoshikawa, T., Denudation and Tectonic Movement in Contemporary Japan, Bulletin of the Department of Geography No. 6, Faculty of Science, University of Tokyo, 1-14 (1974).
- 24) 貝塚康平、松田時彦、その他、日本列島の構造と地質・火山、科学、Vol.46、196-210 (1976).
- 25) 荒牧寛雄、火山の構造、岩波地球科学選書、「火山」(横山 泉、荒牧寛雄、その他)、岩波書店、157-194 (1991).
- 26) 町田 洋、火山の爆発的活動史と特来子測、「百年・千年・万年後の日本の自然と人類」(日本第四紀学会編)、古今書院、104-135 (1987).
- 27) 中村一明、火山の構造と噴火と地震の関係、火山、Vol.20、229-240 (1975).
- 28) 中村一明、火山とプレートテクトニクス、東京大学出版会、323 (1989).
- 29) 棚山雅則、久城育夫、沈み込みと大山帯、科学、Vol.51、499-507 (1981).
- 30) 高橋正樹、マグマ活動からみたフォッサマグナ地域の18-12Ma期のテクトニクス、月刊地球、Vol.11, No. 9, 544-551 (1989).
- 31) Grieve, R. A. F. and et al., The Terrestrial Cratering Record I Current Status of Observations, Icarus 38, 212-229 (1979).
- 32) Pike, R. J., Depth/diameter relations of fresh lunar craters from spacecraft data, Geophys. Res. Lett., 1, 291-294 (1974).
- 33) 水谷 仁、クレーターの科学、東京大学出版会、168 (1980).
- 34) Shoemaker, E. M., Astronomically observable crater-forming projectiles, Impact and Explosion Cratering (D.J. Roddy, R. O. Pepin, and R.B. Merrill, Eds.), Pergamon, Elmsford, N. Y., 617-628 (1977).
- 35) Grieve, R. A. F. and et al., The Terrestrial Cratering Record II The Crater Production Rate, Icarus 38, 230-242 (1979).