

テクトニック・プロセスと地殻の開発

Tectonic process and development of the crust

小 出 仁*
Hitoshi KOIDE

1. はじめに

宇宙時代といわれはじめて、既に久しい。確かに、宇宙開発は目ざましい躍進を遂げている。しかし、よく考えてみると、宇宙開発が直接人類のために役立った成果はまだ少ない。人工衛星は無数に地球を回っているが、軍事用を除いて、真に人類のために役立っているといえる衛星だけにすると、通信用衛星と気象観測用を含めた地球観測衛星くらいであろう。スペースシャトルや宇宙実験室は、まだごく初期の段階にすぎない。宇宙開発は、実際は、科学・技術の進歩へのインパクトという副産物の方がまだ大きい段階にある。実用衛星の代表格である地球観測用の衛星は、「敵は本能時」の典型であって、宇宙開発とはいうが、本当は地球の開発にねらいがある。ところが、地球そのものの理解のための努力は、宇宙に比べると脚光をあびることが少ない。しかし、人工爆発や技術革新のために、地球は必ずしも「廣大無辺」ではなくなっている。救命艇を持っていない「宇宙船地球号」の船体の点検・維持は人類の存続に係わる問題なので、もっと力を入れるべきであろう。

2. 地殻の利用—収奪型からの脱却

人類の地球との関わりあいがある完全な収奪型から多少脱却した時—すなわち農業が生まれた時に、文明が誕生した。しかし、それは地球の表

層部だけであって、地面の下に関しては未だにほとんど完全な収奪型である。地盤沈下を抑制するため、地下水の汲み上げを規制したり、鉱山の採掘跡にズリを埋め戻すなど、ごく限られた消極的保全策がなされる程度である。

もちろん地表でも、収奪型を脱したのはごく限られた範囲であって、大勢は収奪型であり続けた。むしろ文明が進めば、収奪の絶対量は急速に増大する。産業革命以後、科学技術の発達と共に、自然破壊が加速されつつあることは周知の事実である。この自然破壊は地下へも及びつつある（地下水汚染等）が、他方では、地表の環境保全のために地下を利用することが考えられている。例えば、放射性廃棄物や産業廃棄物を地下に貯蔵あるいは処分する。また、公害源となるような可能性のある工場を地下に造る。あるいは逆に、精密に一定温度を保たなければならない工場や実験室や、騒音や電波障害をきらう工場等を地下に造ることも考えられている。食糧・水・石油・各種原材料等を地下に備蓄し、災害や飢餓や戦争に備える必要も指摘されている。

しかし、地下空間は上手に利用すれば広大な空間として利用できるが、乱開発をすると環境を破壊しきわめて利用効率が悪くなる。日本の大都市の地下は既にかなり乱開発が進んでいることがある。その影響を受けて、新しい地下鉄ほど、一般に深くなり、不便なコースをとらざるをえなくなる傾向がある。炭坑の採掘の空洞の内部には、たいてい地下水が溜っている。後

*地質調査所

からまた採掘している時に、このような水の溜った旧坑に不意にぶつかると出水事故がおきる。乱開発をした炭坑の跡は、石炭そのものは大部分残っていても、採掘跡空洞の位置がわからないため危険で再開発は困難になる。

すなわち、地殻の開発は、上手に行なえば、地球の空間や資源を何倍にも活用できるようになる反面、無計画に開発すれば効率が悪くなるばかりでなく、新たな環境破壊の原因にもなりかねない。特に、高レベル放射性廃棄物のような長期にわたって有害な物質を貯蔵したり処分したりするためには、その場所が今後も資源などで利用する可能性がないことや、長期にわたる岩盤や地殻の安定性を確認する必要がある。地下を開発する場合に、特に注意しなければいけないのは、地下水の問題である。多くの場所で、地下水を飲用や生活用水・農業用水・工業用水として使用しているのは、通常は、浅い部分の地下水であるが、しだいに深部の地下水まで開発されるようになってきている。地下利用のために深部に空洞を掘ると、広い範囲にわたって地下水流に影響を与えることがある。廃棄物を地下に埋めた時は、廃棄物中の有害成分が地下水に溶け出して、地下水を汚染したりしないようにしなければならない(図1)。地下は人類のもっとも古いフロンティアであるが、また、最後のフロンティアといってもよいので、大切に開発しなければならない。

3. 地殻の動性と テクトニック・プロセス

十分な長期的安全性を確保した地殻の資源・空間の利用計画を作るためには、地殻がどのような物質からできていて、どのような物性を持つかをよく知らなければならない。そのためには、弾性波速等の間接的な情報もある程度有効であるが、何といたっても直接に観察・測定することが重要であり、ボーリングが欠かせない。ソ連では、大がかりな超深ボーリングの計画を進めており、コラ半島では12km以上の深さまで

達している(コズロフスキー, 1985)。

コラ半島の超深ボーリングでは、既に変重要なことが判明している。コラ半島では9,000mの深さで地震波速度が急増し、ここがコンラッド不連続面で、花崗岩質層から玄武岩質層に変わると予想されていた。しかし、実際は9,000mをすぎても玄武岩質にはならなかった。その代り、深さ4,500mから9,000mまでは熱水によって変成岩が破碎されて孔隙率の大きなゾーンがあり、地震波速度の急増は岩質の違いではなく、破碎ゾーンの下限を示していた。

この事実は、間接的な方法だけでなく、ボーリングをして直接観察することの重要性を示す。また、もし、コラ半島で発見されたような深部含熱水割れ目ゾーンが、他にも存在しうるとすれば、地熱資源・金属鉱床資源・石油資源の形成に重要な役割をすると考えられる。また、深部熱水ゾーンに、さらに深部からマグマが貫入してくれば、熱水の圧力が急上昇し、「水噴火」現象を呈する可能性がある。ぜい性割れ目の進展条件は、有効応力(岩圧と割れ目内部流体圧の差)とせん断応力(割れ目面に平行な成分)によって、ほぼ決まる。水圧が必ずしも岩圧より大きくならない場合でも、ある程度のせん断応力が作用していれば、ぜい性割れ目が進展する場合がある。いいかえれば、かなり異方性が大きい地殻応力下では、熱水の圧力が岩圧よりかなり小さくても、「水噴火」現象が発生しうる。中村(1971)は、松代群発地震の原因として、はじめて「水噴火」を提唱した。松代群発地震は水噴火の状況証拠がよくそろっている例といえる。伊豆の群発地震等かなり多くの群発地震が「水噴火」にまでは至らなくても、地下の水圧増加による水圧破碎によって発生している可能性が大きい。水圧上昇のエネルギー源はマグマの熱によって供給されている可能性も大きい。マグマ貫入と水圧破碎は圧縮テクトニクスにおけるコールドロン形成の機構である可能性が高い。しかし、そのプロセスは十分に理解されているとはいえない。たかだか、数kmの深さの地殻の性質や状態もよく判っていないことはこの例からも明らかである。数kmから数十km

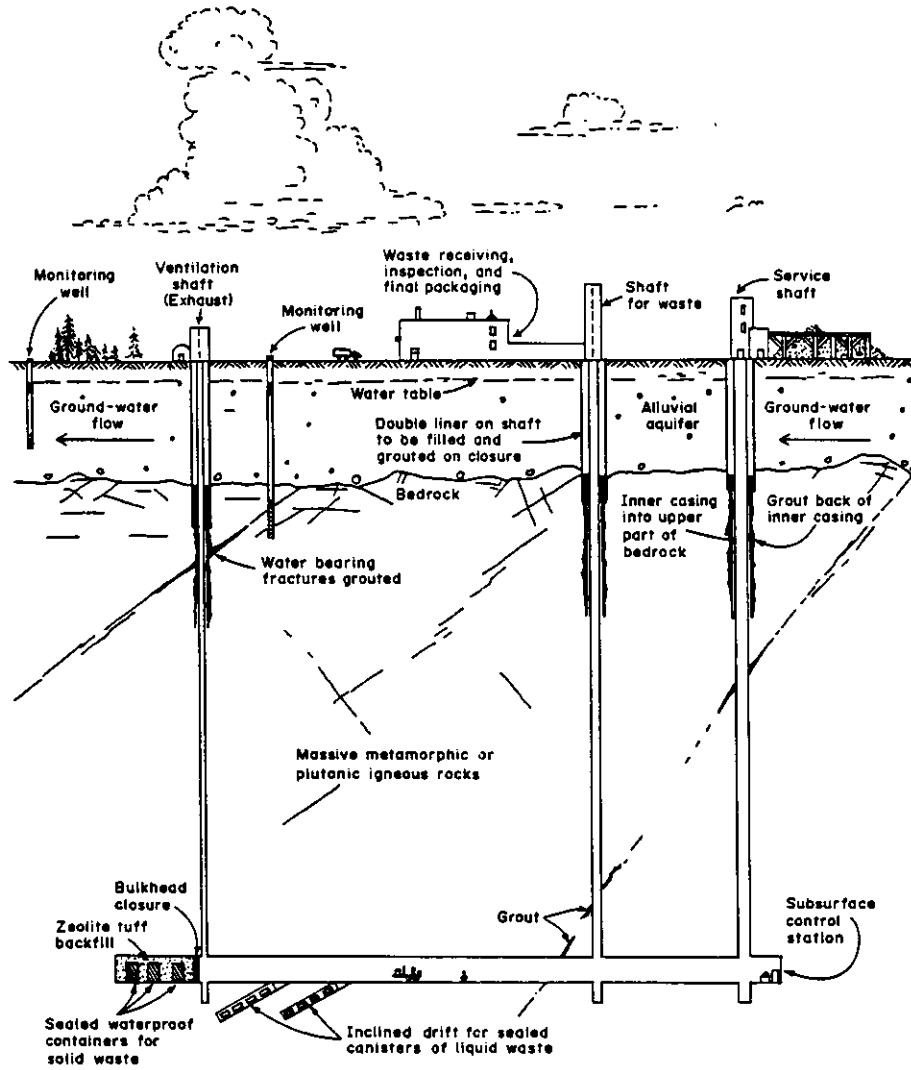


図1 廃棄物の深層隔離の概念 (Davis, 1984) 有害物質が地下水に漏出するのを防ぐ

の深さの地殻で行われているテクトニック・プロセスは、その直上の地殻の安定性や資源に直接影響するだけに、その理解は地球科学の根本的課題である。

4. 地質未来予測と地下地質調査

地下に、恒久的な施設を作る場合、地殻変動

等のために悪い影響を受けないような場所を選ぶ必要がある。また、地下の開発をしたために、地下水流の変化や水質変化等によって、現在はもちろん、将来にわたっても周囲に悪い影響を及ぼさないようにしなければならない。これは廃棄物の貯蔵や処分ですべて問題となる。高レベル放射性廃棄物は、放射性壊変のため毒性は低下していくが、数万年以上生物圏から隔離されることが確実でなければならない。地殻変動に

よる隆起・沈降はきわめて遅いが、数万年ともなるとその影 問題になる。隆起部は侵食によって削はくされやすいし、地下水流の変化の原因になる。地下施設は地震には大変強い。これは、中国の唐山地震で大変ドラマチックに実証された。とはいっても、日本のような地震国では、地震に対する研究と対策は欠かすことができない。火山や熱水も見落すことはできない。地殻変動は現在の変動方向と速度が、将来も続けば、かなりの精度で予測できよう。しかし、日本では第四紀の間は大勢としては地殻変動の方向は一定であったと考えられているが、約50万年前にかなりの変化があったことも知られている。また、海水準変動も気候変化の影響を受けるので、大きな問題である。

地殻のテクトニックプロセスの問題は、断層・割れ目と水が急所になっている場合が多い。地下における断層・割れ目の分布と水の存在状態を知ることが大切である。多チャンネルの反射法や弾性波トモグラフィーや地下レーダー等の技術開発、ボーリングや検層技術および深部応力測定・原位置試験などの技術を開発することも重要である。

地殻変動が急に変わることは考えられない。大きな変化がある場合には、例えばプレート活動の変化や、地下深部でのマグマ活動や深部断裂の発達等の広域的な変化がはるかに前から現われていると考えられる。すなわち、広域的なトータルな（地球化学的变化も含む）テクトニック・プロセスをモデル化し、その発展過程を明らかにすることが、地質未来予測のために必要であろう。

参 考 文 献

- Davis, S. N. (1984): Deep burial of toxic wastes, in *Groundwater Contamination*, National Academy Press. 78-89.
- コズロフスキー, Y. A. (1985): 世界最深の井戸で地殻を探る. (鋼川秀夫訳) サイエンス, 15, 82-90
- 中村一明 (1971): 松代地震から学んだこと, 科学朝日, 31, 127-133.