

<巻頭言>

流域圏と地質屋 ・ Lessons learnt from the past

辻 和毅*

はじめに

私は石ころをあつかう地質屋です。流域圏学会ではその分野でただ一人の会員かもしれません。地質屋は「数百万年前のできごとを新しいと平気で言う」とか「そんな昔のことをさも見てきたようにほらを吹く」などと、ときにやゆされ、日本では残念ながら社会的な立場はよわく目立ちません。今回本欄に機会を与えて頂きましたので、流域圏のなかで地質屋はどういう役割を担ってゆけるのか、あらためて考えてみました。

流域圏と第四紀層

地質学は46億年前に地球が誕生して以来、形成された地質を対象とする学問です。そのなかで、私たちが居住する現世の流域圏にダウンスケールしたとき、流域圏が決定的な素因となり、流域圏で完結する地質というものはあるのでしょうか。それは、おそらく、現在の地形に近い流域が地表に現れたあと、流域の地質が風化し浸食されて、おもに河川によって物質が下流に運ばれ、湖や海に堆積してできたきわめて新しい時代の地質と思われます。大雑把に言えば、ほぼ第四紀(258万年前から現在まで)という地質時代の地層(以下第四系という)に相当するでしょう。ほとんどが未固結な砂層、粘土層や礫層から構成されています。砂層や礫層は地下水を含む帯水層となります。第四紀より古い時代の堆積層もその当時の海や湖などの堆積盆を囲む流域圏があったはずですが、正確に復元することは難しいので取り上げません。また、ここでは第四系でも、時に流域を越えて広域に分布する火山噴出物(溶岩や火山灰)や洞穴を地下水が流動する石灰岩は除いて考えます。

第四系は地域的な環境要素である地質や地形のほかに、海水準変動という地球規模の環境変化に大きな影響をうけました。それは地球気候の寒冷化と温暖化という変動にともなう、氷河の消長と密接に関係しているからです。世界的にみて第四系は地下数百mの厚さにおよび、地表ではいわゆる沖積平野(デルタや扇状地)という平坦な地形となって、人類に生活圏と農耕地を提供しています。人類が生活する最前線である海岸線は海水準変動を主因として、地盤の隆起や沈降および河川からの土砂排出量の多少、さらに沿岸流の作用が加わって海進と海退(海岸線が海側に退くこと、海進はその反対)を繰り返します。地盤の隆起によって海退が起こり、海岸や河川に沿って平坦な段丘が形成され、やはり人間にとって生活圏が広がります。

アジア大陸には世界的な大河流域の最下流に数百万haにおよぶ広大なデルタがいくつもあり、そこには人口数百万人の巨大な都市圏が発達しています。島嶼部でもジャカルタ平野や第四紀火山のすそ野は広大な山間盆地となり、人口稠密地でみどり豊かな沃野です。

地下水の利用と特長

上記の都市圏では20世紀後半以降、産業の発展が人口の集中を促し、地下の第四系から急速に地下水開発が進みました。地下水は水質もよく、手っ取り早い地産地消型の水資源として手軽に利用されました。しかし、問題がない静穏な時代はそう長くは続きませんでした。過剰な取水はいろんな地下水障害を引き起こし、大きな社会問題となりました。循環型の浅層地下水とはいえ、短い時間に水収支バランスを超えた利用に限界はあります。時間の差こそあれ、地下水利用の栄枯盛衰の歴史的な経緯はアジア各国で驚くほど類似しています。その対策として地下水

*熊本大学大学院自然科学研究科(客員教授)

の取水が制限されました。そしていま、主として河川水へ水源の転換が図られていますが、なかなか進展していないのが現状でしょうか。開発と運転のコストが安く、利便性に富んで、てごろな地下水は、土地に根付いた既得権として手放せないのでしょうか。

よく水資源は大陸や国別のスケールで賦存量や1人当たりの水量、その平均値などが算出され、偏在性や水ストレスが議論されます。そして、人口や気候予測をもとに将来の見通しが論じられます。しかし、この議論は絶対的に水に不足した地域や乾季と雨季の降水量の差が大きい地域のスケールで見た場合、そこに住む人たちにはあまり意味がないように思います。水は必要とする場と時節に存在して初めて価値があり、少なくとも流域単位くらいで年変化の量や質を考えないと適切な指標として使えません。水は食料やエネルギーと違い量が張るため流域を越えた流通経済財として成立しませんし、水運搬事業は一般にペイしません。それに反して、流域の水循環を無視し大規模に水を移送することは、国際間でも国内でも時に政治的な紛争にまで発展します。国際河川の流域変更や独占的貯水に伴う上下流国間のいがみ合いは皆さんご承知のとおりです。国境をまたぐ国際地下水盆でも帯水層の深さを問わず同様の問題が潜んでいます。

水文地質屋の役割

第四系の地下水は流域に土着の水資源であることと、都市圏の直下に賦存するという特長によって大きな価値を發揮します。だから保全につとめ、流域の水循環を正しく評価し、管理基準を法の下で合意したうえで、うまく持続的に利用してゆけばよいのです。せっかく足元にある貴重な資源を利用しないのはもったいないことです。ながく法の下で取水規制を続けた東京下町では、地下水位が回復し上昇して、地中構造物に影響が出ています。地下水の揚圧力だけでなく、地盤の隆起によって地中構造物の内空が変位していることが報告されています。新たな静かに忍び寄る社会問題といえるかもしれません。バンコクも同じ悩みを抱えています。水文地質屋は地下水の開発から障害対策そして回復まで歴史的な変遷を見守ってきました。これからも地下水が次の世代まで、末永く達者な姿で利用されるシナリオを描いて引き継いでゆかねばなりません。これは私たちが果たすべき重要な役割であると思います。実際、多くの方が精力的にその方面の仕事をしています。

ベトナム・ハノイの地下水

世界には水文地質屋が先進的な役割をリードし、うまく地下水を利用している大都会があります。ベトナムの首都ハノイです。ここが地下水に依存した大都会であることはあまり知られていません。

バンコクやホーチミンが地下水障害に長い間苦勞し、開発に急ブレーキをかけ続けた大都会であるのに比べ、ハノイはコントロールしながら、地下水をうまく利用して今日に至っています。その理由のひとつは地形、地質的に有利な条件に恵まれていることでしょう。ハノイはバックボ平野を貫通する紅河の右岸にあります。中国の横断山脈を水源とする紅河が峡谷から抜け出し、堆積物をいっきに吐きだした扇状地の末端にハノイはあって、デルタに移行する辺りに広がっています。そのため、紅河は極端な天井川となり、流出河川となって豊富に地下水を涵養しています。井戸も浄水場も紅河の堤防近くにあります。それは同時に水害の常襲地であり、歴代の為政者の大きな仕事は堤防を積み上げ、排水路を掘る治水事業でした。2008年11月の水害はまだ記憶に新しいところです。

現在ハノイ首都圏では330万人が住み、日量約90万 m^3 の地下水が取水されています。これは東京下町の1960年代ピーク時の60万 m^3 /日をおおきく上回っています。ハノイの専門家の間では水収支計算の結果によって数年後に地下水取水量は100万 m^3 /日が限界ではないかと考えられています。そのため、対策の手は打たれていました。近くの既存ダムからの導水です。2007年3月私が当地を訪れた時は工事中でした。

しかし、ハノイにも問題はあります。大半の井戸が100m以下浅の帯水層を対象としていることは地表の影響を受け

やすいことでもあります。産業廃棄物や工場、墳墓による地下水汚染が報告されています。また、市街地の下流の浅い地下水に地層起源のヒ素汚染があり、深い帯水層に漏水していることが、水文地質構造の研究から指摘されています。ここでは取水が制限されて、深い井戸はありません。いっぽう、経営面にも問題があります。安い水道料金で生じた赤字を海外の援助で補てんしたり、高い漏水率など有収率の低さは旧社会主義行政の残渣でしょうか。現在では改善されていることを祈ります。330 万人都市のハノイ水事情が主に第四系の帯水層から取水する地下水でうまく運営されている陰に、ハノイの水文地質屋の懸命な努力があったことを私はよく知っています。

地下水汚染

前段で地下水汚染に少し触れましたが、水質は水量とともに地下水の取水に伴う環境変化に対し重要なモニタリングの対象で、飲用の適否を左右します。世界でも有数の広がりをもつガンジスデルタは地下に膨大な地下水資源を賦存しています。第四系の厚さは世界有数でしょう。しかし、その地下水はヒマラヤ山脈を起源とする堆積物からヒ素が溶脱し汚染されています。そのため、開発の適地や井戸の深さは大きく制約され、現在でも約 3000 万人の貧しい人たちが健康基準の濃度を超す地下水で生活することを余儀なくされています。日々の暮らしに安全な水が保障されていないのです。私は現在バングラデシュや西ベンガルの人たちが直面するヒ素汚染は世界でもっとも悲惨な地下水障害と思っています。内外で紹介する場を得るたびにそう訴えてきました。

国際連合の取り組み－地下水と人間の安全保障・Vulnerability

私は 2008 年から国連大学のワークショップに参画しました。目的は「地下水と人間の安全保障」を主題に 5 つのケース・スタディ地域(上記のガンジスデルタを含みます)の現状を分析し、将来の需給予測と対策を議論することでした。人間の安全保障という難しく聞こえますが、やさしく言えば「人が安全に平和に自分の家で暮らせること」ではないでしょうか。私はここで地下水障害を予測し、リスクを回避する方法として Vulnerability(ぜい弱性)という概念を学びました。聞きなれない用語ですが、自然災害のリスク管理の考え方と同じと考えられます。国連大学は UNDP の災害研究を受け、2005 年頃から従来の災害の分析や数量化から一歩進んだ方法論として採用しているようです。

私はこの概念を「人がこうむる災害や障害の可能性や影響、規模は自然現象面だけでなく、被害者側の社会的、経済的なもろさ、そして加害・被害の両者が環境に与える負荷を総合して考えることが重要であること。その分析から効果的なリスクの軽減策や障害と災害に強い方策を構築する糸口が生まれる」と理解しています。

ここまでお話ししますと、多くの分野の人が集まった流域圏学会の皆さんと議論ができる接点にやっとたどり着いたような気がします。それは、災害や障害に対するリスク管理には、物理的な側面ばかりでなく、人為的、社会的、経済的そして環境的な要因まで多岐にわたって多くの専門家と一緒に考察しなければならないからです。この考え方が適応できる対象は地下水に限りませんので、問題解決学として多方面で役にたつのではないのでしょうか。

国連のなかでも UNESCO は、IHP と組んで地下水と人間の安全保障や緊急事態、そしてぜい弱性の抽出など人類の生存をおびやかすリスクと減災に注目した仕事を精力的にやっています。2006 年に「Groundwater for Emergency Situations A framework document (94p.)」を公表し、昨年「Groundwater Emergency Situations A Methodological Guide (316 p.)」を出版しました。現在「Groundwater Vulnerability Map of the World」を作成中です。日本でいうハザードマップに似た図のような気もしますが、Vulnerability をどう区分し、複雑な要因をどう図化するのかが非常に興味ある Map です。

東日本大震災と地質学

つぎに、Vulnerability を念頭に東日本大震災の復興に向けたまちづくりについて考えてみます。細かい話は知り

ませんが、被災した三陸海岸では安全なまちの移転先に高台があがっています。ここは大半が最終間氷期(12~13万年前)の旧汀潮線を刻む土地が隆起してできた中位段丘に相当すると思われます。その段丘面の標高は40~25mで、三陸海岸の北に高く南に低くなっています。今後新たな生活圏として開発するとき、大々的に段丘の切土や盛土がなされるでしょう。段丘に段丘崖はつきものです。造成には地震時の斜面と盛土の安定に細心の注意を要します。

いっぽう、現在のリアス式海岸は地盤の沈降(水没)によってできますので、最終間氷期以降の随分新しい時代のできごとです。その海岸には狭いながらも沖積平野があります。巾着型に閉じた地形と砂礫層が多い地質条件を生かし、緊急時の水源として地下ダムを造る案があり、大船渡市の稜里川では施工事例もあります。水道の集中システムのもろさを避けた、災害に強い分散型の水源です。標高の低い平野に位置しますから取水施設に工夫は必要でしょう。

第四紀学と人類

第四系は近年いろいろな解析手法が開発されて、堆積年代が明らかになり古環境の復元も可能になりました。第四紀は人類が繁栄した時代でもあります。そこに地質学と考古学や歴史学との接点が生まれ、古環境学という新しい学問がおこりました。最近の話題のひとつに津波堆積物があります。地質学者は現場をつぶさに歩き、東北地方の沿岸でその堆積物を見つけ、ほぼ時代を特定しました。古文書と対比しその分布が平安時代初期の貞観地震(869年)による被災地と似ていることがわかりました。そして東日本大震災前、三陸沖で発生すると想定されていた地震の規模を上回る巨大地震が起こる可能性があるという警鐘を鳴らしていたのです。素晴らしいフィールドの観察と洞察力だと思いますが、今回の震災前にそれは防災計画の目標として生かされませんでした。津波堆積物は高知県でも見つかっていますので、防災計画のなかで考慮されるでしょう。

また、地震に関わる話として、各地の遺跡で見つかった噴砂脈があります。その跡が地震で発生した砂地盤の液状化によるものと分かったのは地質学者と多分野の学者による共同研究の結果でした。古環境の復元といえるでしょう。このような最近の話題とは別に、近代において私たちが今その恩恵にあずかっている社会インフラ整備に地質学や地盤工学が多大の貢献をしてきたことは皆さんご存じのとおりです。第四系が大半を占める都市圏の地中空間利用のため、やっかいな軟弱地盤や地下水を相手に地道な研究が積み重ねられました。

地質学徒は地質学史の講義で、まず、斉一観(Uniformitarianism)を教わります。これを地学事典は「過去の地質現象は現在の地質現象と同じ作用で一樣に行われたとする考え」と説明しています。地質を過去の一時代の現象(ストック)ではなく、歴史的な変化あるいは進化過程(フロー)として観察する訓練を受けるのです。また、地質屋は地質現象を三次元で立体的に理解することを学びます。私たちは露頭から証拠を読みとり、それが自然界でどう展開しているのか、常に頭の中でフィールドを透視し、あれこれと地質構造を組み立て、地史の仮説を編み上げながら踏査をしています。上記の歴史地震に示された地質学者の先見性は、このような歴史観が観察眼力に裏付けされて生まれたのではないのでしょうか。

めざましい進歩をとげた第四紀学の情報を流域圏学会の皆さんに広く活用していただきたいと思います。流域圏の歴史的な変遷や未来を考えると、きつとお役にたてるはずで、「Lessons learnt from the past」です。