

“開発災害”の要因と今後の問題

—2014 年広島土石流災害にみる

志岐 常正

1. はじめに

2014 年広島土石流災害の被害状況については、災害発生直後から調査が行われ、分厚い報告も出されている。その多く、とくにマスコミ報道では、花崗岩の風化により発達したマサ土が崩壊し、それによって発生した土砂流が住宅を襲ったことが注目され、強調されている。

この強調は一面では正しい。それは、この地方一帯が、もともとそのような自然環境下にあることを軽視した開発が、今回の災害の基本的要因だからである。

しかし、この災害の実態を、現地で具体的に観てみると、この災害のメカニズムは、そう単純ではなく、地区によって、またさらに細かい場所毎に多様である。このことは、今後の復興や安全な地域計画を考える上でも留意されねばならない。

この問題は、「国土問題」の本号の、越智報告によって論述されるであろう。しかし、その内容や意義を理解するには、若干の予備知識、とくに地質学的知識を必要とするのではないと思われる。

地質学というものは、一般の人々だけでなく、近接分野の自然科学者にとっても、非常に近づき難いものらしい。今回の筆者の拙論では、できるだけこの問題に配慮した。内容的には、多少切り口が変わるであろうが、越智報文の補足、補強である。

2. 土石流災害の記述に必要な概念、術語について

地球科学の術語の少なからぬものに、概念や用法に不統一や混乱があり、それが一般の問題理解を妨げている。災害に関わる術語にもそれが見られる。そこで、筆者が拙文で用いる用語、術語について、まず説明ないしコメントをしておく。ただし、筆者の意見を強く出しているのが、学習、記憶の対象とは考えないでいただきたい。逆に、一般に使われていて、とくに必要がないと思う術語にはコメントを加えない。

2.1 災害要因の構造と要因

災害の要因、因子の捉えかたについては、1900 年代までのその研究史を含め、木村（1977）が詳しく述べているので参照されたい。筆者はかねて、災害要因を自然的素因、自然的直接因、社会的素因、社会的直接因の 4 つに分けて捉えることが有効であると主張している（たとえば志岐 2013）。以下の記述もこれに従う。

土石流の流下は自然現象であるが、2014 年広島災害の直接因である。

その土石流の発生メカニズムにも各種の要因が働いている。つまり、災害の要因と、それを引き起こした自然現象の要因とは区別されねばならない。2014 年広島土石流災害について言えば、その直接因が、住宅地背後の山地・山腹崩壊に始まる土石流の襲来であることは言うまでもない。崩壊は自然現象である。それにも、山地の崩壊性や土石流の材料物質蓄積などの素因や、記録的豪雨という直接因（誘因）がある。

“直接因”という語は一般に使われている術語ではないが，“直接”の文字から、意味を受け取っていただけるものとして、ここでは説明を省略する。

2.2 岩盤分類，岩級区分

日本の業界では、岩盤を、その硬軟の程度により、A から D までの 6 段階に “岩級区分” することが一般的となっている。この区分での “硬” “軟” とは、岩盤の割れ目（断層や節理）の粗密やその充填物の状態のことであって、割れ目と割れ目の間の岩石の堅硬さは基準に入っていない。また、新鮮で未風化でも節理がなく、かつソフトな新生代後半以後（およそ 2000 万年前以降）の地層には適用できない。

岩盤をその性質で分類する方法、あるいは “はかり” は、ほかにもいろいろある。地球史を反映した地質的特徴と “強度” とを組み合わせ、弾性波速度との関係も組み入れた岩盤分類もある。いずれも土木工事や施工方法を検討するためのものであり、2014 年広島災害の被災地の復旧・防災工事においても使用されるに違いない。しかし、山地とその構成物を風化状況で分け、記述するには、そのための方法や基準が必要である。

2.3 風化帯区分，風化度

山地の風化帯区分は、とくに日本の風化花崗岩について、1960 年代から 1970 年代にかけて、さかんに行われた。たとえば大八木（1967, 1968）、三浦（1966, 1967）、木宮（1975, 1981）などは、島根県や東海地方などの風化花崗岩山地について、三つの風化帯（I, II, III）を識別し、それらの分布を地図と断面図に示した。画期的な仕事であったが、その後、この仕事の流れはあまり引き継がれていないように思われる。筆者は、国土問題研究会が天理市東部山地のダム問題に関わる調査をしたとき、その地域の花崗岩質火成岩・変成岩の風化帯を 5 つに区分したことがある。それ以来、この区分の眼で各地の深層風化を観察すると、どこの花崗岩でも、ほぼ似たような分帯が可能なのである（図 1 参照）。

ここで、風化帯と風化度との区別を指摘、強調しておかねばならない。前者は山地や露頭のオーダーでの区分であり、後者は、その局所の、試提体サイズについての区分である。具体的にいうと、図 1 に示すように、風化帯 II~IV、とくに III では、その部分による不均一性が大きく、部分によってはかなり堅硬な風化度 II や III の状態であるのに対して、その周囲では風化度 IV や、場所により V まで風化が進んでいるのが普通にみられる。風化帯 I や V では、風化度の不均一性はほとんどない。

このような風化帯の分布は、豪雨や地震の際に山地で発生する土石流の粒度組成を大きく支配

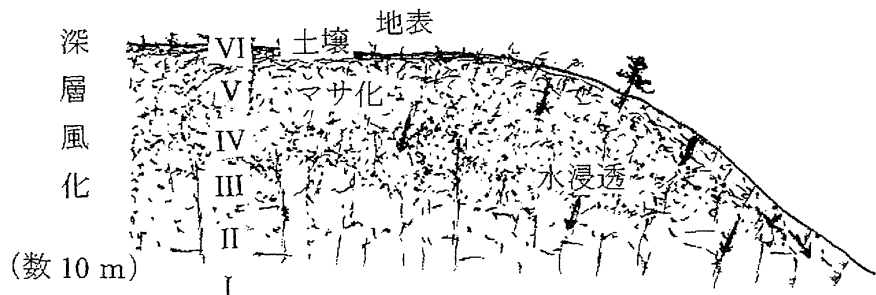


図 1 深層風化帯模式図^{註 1)}

する。

2.4 深層風化とマサ

日本では、花崗岩の深層風化が顕著で、深度 100m にまで達することがある。だが、これは世界的にはむしろ特殊と言える。池田（碩）（1998）の著書を参照されたい。

新生代の終わり（鮮新世）頃、日本列島の本州、四国、九州などが、2~300 万年規模の長期にわたり準平原の状態にあった。その期間、温暖、多湿な気候条件で、風化が地表から深層へ進行した。その後、地球表層環境全体の温度が低下するが、その間にも温暖な間氷期には、風化は進行したと考えられる。（広島地域の岩盤の風化程度による分帯については後に述べる。）

花崗岩の風化が著しく、砂の集合物のような状態になったものをマサという（風化度ではきちんと定義されていない—筆者も定義していない）。この名は、日本で昔から使われていたものであるが、花崗岩の風化残留物と、これからもたらされた堆積物とが、見分けできないことがしばしばある。今でも、研究者や辞典によっては、両者をまとめてマサ、あるいはマサ土と呼んでいる。

マサ形成のメカニズムについては、構造運動による破碎作用、地下水の作用などの役割が論じられている。地下水が作用するには、その通り道が必要である。筆者は日本の花崗岩に潜在するミリメートル間隔の節理（“石目”）に注目している（図 1）。「国土問題」志岐（2000）の記述をみられることを希望する。

2.5 風化の不連続性

岩盤の構造、構成岩石の種類、具体的には、物理的・化学的性質などによって、風化、浸食の受け方が異なり、岩石塊や砂粒、粘土、イオンなどの出しかたも異なる。2014 年広島災害の被災地に分布する岩石について見れば、花崗岩は、上記のような風化によって、基盤岩や岩塊から、小さい径を経ることなく、いきなり砂（マサ）になる場合が多い。“砂”と言っても、径 2 ないし 4mm の、堆積地質学でグラニユールと呼ばれるサイズ、ないしそれよりやや細かい粗粒砂である場合が多い。元の花崗岩の石目節理や結晶のサイズによって規制されるからである（志岐 2000）。

なお、石英の結晶は、風化作用や運搬過程の磨耗では、径 1mm 以下にはならない。これが、一般に中粒砂に石英が多くなる機構の一つである。

2.6 運搬碎屑性堆積物の供給源規制

岩礫は大きいほど大きな高低差を転がり落ちる。重力エネルギーによるのだから、この傾向は土石流の構成にも強く現れる。とくに、先頭に巨大な岩塊が集まることは防災上問題である。一方、扇状地から海岸までは、下流ほど細かい碎屑物が分布する。日本では、運搬の過程での破碎や磨耗はあまり働かない。河川の長さが短く、勾配が比較的急であるため、基本的に粒径の違いによって物理的に淘汰されるからである。そこで供給源地の地質の特性、とくに風化の不連続性が堆積物に大きく影響することになる。これを“供給源規制要素”，（“Provenance factor”，“Source rock control”）と言う（志岐 2000 参照）。土石流では淘汰があまり働かないが、それなりに供給源規制は働くので、流下する土石流の構成や破壊力などの場所による違いが生まれる。

ところで、礫と、一般に言う砂との中間のサイズであるグラニユールは、流水の条件によって、礫よりも砂よりも運搬されやすく、また堆積しやすい（木村 1956）。花崗岩が風化すると、グラニユールや、それに近い粒径である粗粒砂からなるマサが大量に生産されることは、この点で重要である（志岐 2000 参照）。

2014 年 8 月には、マサ土の発達地域から大量の土砂が流れ下った。これは多くの人々により“土砂流”と呼ばれている。筆者も、このように土砂が主体の土石流は、形成過程の違いによらず、これまでから土砂流と呼んできた。

なお、一口に花崗岩といっても、細かくはいろいろ種類がある。一般的にいて、細粒花崗岩は粗粒花崗岩より風化しにくく、マサになりにくい。広島市被災地背後の花崗岩には、細粒黒雲母花崗岩と、中・粗粒角閃石黒雲母花崗岩があるが、それらの分布、風化と碎屑物の出し方、つまり土石流の供給源としての役割については、国土研越智会員の具体的研究に待ちたい。

2.7 花崗岩以外の岩石について

2.7.1 ホルンフェルス

簡単に言えばマグマからの熱によって“焼き”（熱変成）が入った岩石である。普通、泥質岩その他の堆積岩起源のものについて、こう呼ぶが、ある種の変成岩起源である場合もある。2014 年災害が発生した広島市八木地区の裏山では、泥質岩および細粒砂岩起源のホルンフェルスが、花崗岩類の上を覆っている。これら源岩については、他の研究者の報告中の地質図などに、ジュラ紀の付加体と記述されているが、名称として長いので以下の拙論では使わない。それで、ここでは付加体などの説明を省略する。

問題は、この岩石の特性である。堅硬で風化、浸食に対する耐久性が高く、各地で残丘をなすというのが地質家の常識であった。しかし 2014 年広島災害に際しては、八木地区の裏山からも土石流が出ている。出た岩のサイズは、大きくとも径 1m 程度に止まるらしい。変成と風化の程度にもよる。なお、チャートが源岩の場合には、巨大な岩塊をなし得る。

2.7.2 花崗斑岩

越智（国土問題 77 号収録）は花崗岩とホルンフェルスの境界に、花崗斑岩の大きな岩脈を発見した。この岩も巨大な岩塊を生み出すので、注目を要する。

2.7.3 扇状地形成層

谷底堆積物や扇状地構成層からも土石流がでる。これらの地層を構成する岩礫や土砂は、それらの粒経と堆積場の条件（と流れの性質）により、場所的に異なる。たとえば、土石流先頭の岩塊は、扇状地の頂部から少しだけ降りたあたりに停止し、集中的に堆積する。砂はそこから抜け、土砂流をなして下流へ奔る。

2.8 活断層と地形発達

現在活動的であり、今後も活動を続けると考えられる断層を活断層とよぶ。かつては、第四紀（現在を含む最新の地質時代）に活動した証拠のある断層と定義されていたこともあり、今でも土木関係者が“第四紀断層”であるとかないとか言うことがあるが、この語は地質学では死語である。

“断層が活動する”と（専門術語としても）言うが、おかしな用語である。ずれ動くのは地盤であり、断層は動く境界の割れ目である。

日本列島では、数 10 万年前（場所により多少違う）から地殻変動が盛んになった。（より広域のプレートの運動や、それが関わる応力との関係については省略する。）

この変動は、地盤の褶曲運動（曲隆）に始まり、中期更新世（数 10 万年前）以後には激しい断裂運動に発展した。それまで低平な準平原をなしていた地域の中で、上昇したブロックは隆起準平原をなし、沈下した地域は地層を堆積させる場となった。上昇した地域内でも、断層破砕帯

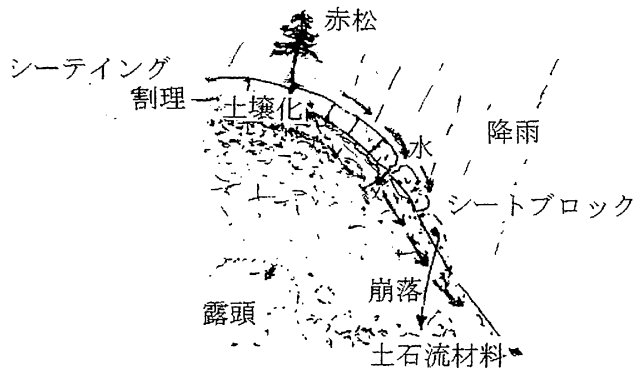


図 2 シートブロック崩壊模式図 注 2)

(谷頭凹地形から見上げたスケッチ，スケール不同)

が発達したところは浸食に弱いため，各地で谷地形が形成された。本州各地にこのようにしてできた地形が広がっている。中国地方西部では，東北—西南方向の活断層が優勢に発達している（西北—南西方向の断層もある）。隆起準平原には，持ち上げられた上述の深層風化帯が分布しているが，広島市北部では，東北—南西方向の活断層の間隔が狭いため，断層に挟まれた山塊も幅狭く，稜線を残すだけになっている。両側の断層線崖起源の急斜面を削る谷の頭は準平原面の風化帯に至っている。その崩壊による土石流，土砂流が麓に扇状地をつくった。

2.9 節理

岩盤の割れ目を節理という。成因にはいろいろある。たとえば花崗岩は，マグマから冷却し，固結するときに冷却節理ができる。地盤の崩壊，土石流発生，とくにその免疫性に関係して注意すべきは，地盤の地表露出で荷重が除かれることにより発生する“除荷節理”である。風化が進んでいない堅硬な岩盤にでも発生する。

内部応力の開放は地表面に対し直角方向なので，節理が地表面に平行に生まれ，岩盤が板状（シート状）に割れて，はがれ易くなる。これを“シーディング節理”などと呼ぶ。地表面が水平的なら水平的に発達するが，山の斜面の肩の部分や，谷の頭や側壁では，傾斜した斜面に沿ってのクリープ性ずれの原因にもなる。広島の災害地の花崗岩にも発達している（図 2）。

2.10 斜面崩壊と土石流災害の免疫性

山の斜面崩壊には免疫性がある。それが土石流による災害の免疫性に影響する。この概念は小出博（1955）によって提起され，その後の応用地質学的調査に大きな影響を与えてきた。現象的に免疫性が現れるのは，崩壊して“なくなったものは崩壊しない”からである。その後に風化が進み，あるいは崩落物が谷や斜面に溜まれば，つまり崩壊材料が生産，蓄積さえすれば，いつか崩壊する。つまり免疫性は失われたということである。崩壊しないで残ったものがあれば，次の豪雨の際には崩壊しやすい，つまり“免疫性が得られていない”。

広島の被災地の復興を考える際に，この概念を有効に生かすことが望まれる。

3. 何が，何故，どう起こったのか —「開発災害」

災害発生の直後から池田碩が繰返し強調しているように，今回の被災地は，そもそも過去に繰

返し起こった土石流の堆積物からなる土地であった。

さらに深くみれば、この自然的素因、言い換えれば自然地理・地質学的災害リスク環境の形成は、2014 年広島災害の場合、中生代後半の白亜紀から新生代初め、つまり 1000 万年オーダーの昔の、各種基盤岩の形成に遡る。その後の準平原形成、深層風化、地殻変動、地盤斜面崩壊、土石流扇状地形成などは、すべて、今回の、(2014 年土石流災害の) 素因である。そうして、今後の災害の素因でもある。このこと、つまり地域に災害の自然的素因があることの認識は、地域の一般住民にも行政にも、ほとんどなかったと思われる。これが今回の災害のもっとも根本的な要因であった。これは社会的要因である。

行政の部局によっては、土石流の流下や斜面崩壊の恐れを憂い、危険地域の設定に努力していた。しかし、それは実質的、効果的に働かず、危険な地域に開発が進められた。行政主導、あるいは行政自身によっても住宅建設が行われた。この意味で、2014 年広島災害は、“開発災害”(新称) であったと言わざるをえない。

この問題は多くの調査者や研究者が指摘するとおりである(たとえば藤田 2014)。また、今後のために検討されるであろう。だが、一般的な教訓を強調するだけでは、今後の防災を具体的に検討するには充分でない。この点で今筆者が注目の必要を指摘したいのが、災害の多様性である。

何が、どう起こったのか。その実態は細かくみれば、地域やその局所によって多様である。崩壊や出てきた土石流に多様性があるからである。

たとえば、今回激しく被災した緑井、八木地区について、土石流が始まった崩壊箇所を見ると、山の稜線に近い谷頭とそれより 100m ほど低い谷、および、それらよりずっと低い、住宅開発地の 50m ないし 100m 上あたりに多い。地盤の風化のしかたを反映していると思われるので検討が必要である(図 3)。

住宅開発地が山に這い上がっている高度に、緑井地区と八木地区とでは違いが見られるが、こ

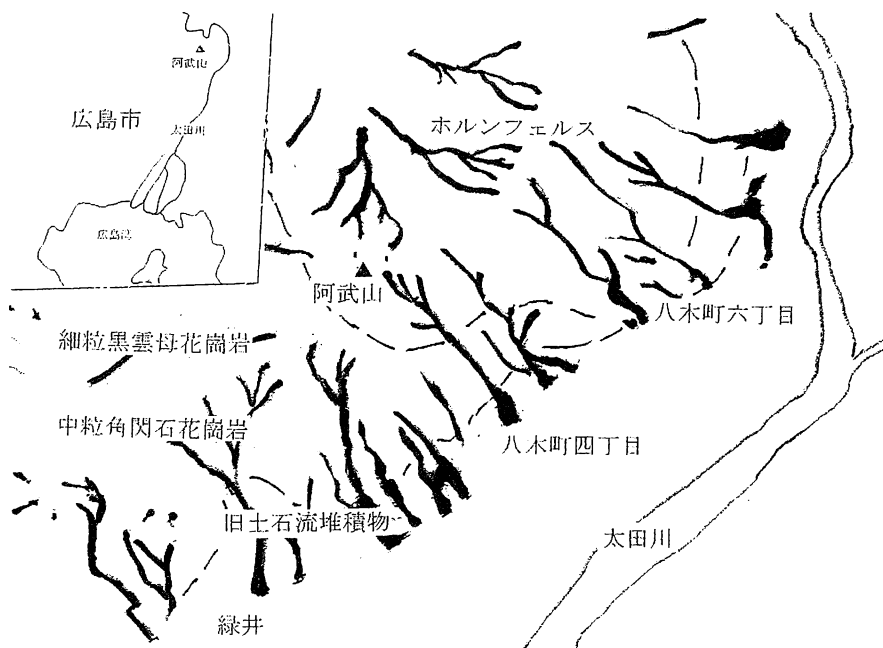


図 3 2014 年土石流災害の発生地の地質と土石流流下痕分布
(緑井・八木地区) 模式図^{注 3)}

れは扇状地の発達状況を反映している。

上に、土石流扇状地の発達問題を強調したが、八木地区の東部では、段丘の上に扇状地堆積物が発達していない。川（太田川）の作用以外に、後背の山が花崗岩でなく堅硬なホルンフェルスであること、つまり源岩規制が効いていると考えられる。緑井地区や八木地区西部などでは、上記のように、地質時代から大量の巨岩やマサ土が土石流、土砂流をなして流下し、扇状地をつくった。八木地区東部でも土石流は起こる。しかし、緑井地区や八木地区西部などと異なり、礫といっても超巨大なものはなく、またマサはそもそも山で生産されてこなかった。今回も、土石流は、概括的に言えば、狭い高位段丘のすぐ下の住宅の第1列に乱入して、そこで止まっている。

土石流の性格は、場所だけでなく、時間的にも変わる。2014年災害では、土石流が3回流下したがそれぞれ性質が異なったという被災者の証言がある。このことは、国土研や京大防災研の現地調査でも堆積物の特徴から裏付けられている。第1波は大量の土砂（マサ）を含んでいた。これに対し、第3波は、水分含有量が高いものであったが、これに運ばれた巨大な岩塊が、建築物に突き当たってこれを突き破るなどの破壊を行った。おそらくは、第1、第2波で、谷の上流部の表層や谷底の土砂が、かなり洗い出されたのであろう。これらの谷では、崩壊の免疫性がかなりにできたとみて良い。

これら土石流の違いは、被災のしかたに大きくかわる。また、後述のように、今後の復興と地域計画を考える上で重要である。

4. 今後の問題

上に述べたとおり、今回の災害が「開発災害」であったと言うだけでは、今後の災害対策や、地域計画策定にはほとんど役立たない。あらゆる悪い場合を想定して対策を考えるのが防災の第一歩であるが、実際問題として、今回の被災地域全体を一括してそれを考えていては、大変な大規模な話になるだけで、具体的には良案は出てこない。たとえば、被災リスクのある地域の全住居を、すぐに安全な場所に移転させるというわけにはいかない。そこで想記されるのが、上記の山地崩壊の免疫性や、土石流災害の地域性である。その把握のためには、上に述べたような、災害の構造や要因に関する諸概念やその内容の、地域や地区の局所に即した検証が必要である。はじめの章で、その基礎的概念や用語について記したのは、その参考に供したつもりである。

例として、あえて言えば、2014年に免疫性が得られた谷からは、当分、土石流は出ないから、その谷川の流域は、今回被災したところでも、居住してたいした被害は受けないと考えて良い。ただし、土石をあまり含まない洪水には備えねばならない。これに関係して、今急ぐのは、免疫性がえられたかどうかの調査である。たとえば、土石流が出た谷でも、危険な除荷岩板が落ち残っていないかは、現地でチェックしなければならない。

実際に、土石流や洪水の襲来の際には、それからの距離の1mの違いが生死を分ける。岩塊にぶつかるか、土砂に埋まるか、床上浸水か、床下浸水かは、被災のしかただけでなく、その後の復旧、復興にも大変な違いがある。今後の災害についても、これらの予想を地区毎、家屋毎にする必要がある。そのためには、現地での専門的調査とその結果に基づく助言が求められるであろう。

2014年の崩壊と土石流で免疫性がえられた溪流に、大きな防災ダムの設置を急ぐ必要はない。ダムをつくるについては、流下するであろう土石流の性質と、流下につれての変化を予測すべきである。たとえば堰堤の設置場所は、巨岩がほぼ停止するはずのところのすぐ上あたりに選ぶ

のが効果的であろう。谷の河床の傾斜が落ち、浸食域から堆積域へと変わる地点（木村（1956）の言う「河川の節」）の少しだけ下あたりである。この地点がどこかは、2014 年の土石流の岩塊の堆積状況が教えてくれる。

今、もっとも深刻な問題は、災害リスク地に「住んでしまった！どうする！」ということではないであろうか。広島だけでなく東京や大阪の広大な地域を含む全国の問題である。この問題についても、自然の現象と被災のしかたの地域性の分析が重要である。筆者は、被災リスクのブラックゾーン、グレイゾーン、ホワイトゾーンを識別して、生活や地域の計画を考えることを提唱してきた。ブラックゾーンは住んではいけない地域である。グレイゾーンは、その黒い程度に応じて、利用のしかたを考えてよい。雲仙普賢岳の斜面の例であるが、牧畜になら、豪雨があれば土石流が流下するに決まっているところでも利用できる。もちろん大事なものは、天気予報に気をつけることである。筆者は、たとえば県営住宅のマンションでも、場所によっては今すぐにも住んで良いのかも知れないと思っているが、現場の実情を良く知らないで、言うのをはばかっている。

具体的には現地での被災者、生活住民のための、住民による調査が望まれる。その際には、要するに、被災全域を一括してはいけない。このことは、東北の津波災害の被災地“復興”デザインについても言えることであったが、宮城県や福島県では、それに全く反することが行政によって進められている。そのことが、被災を長期化、深刻化させている。広島では、その轍が踏まれてはならない。

5. 終わりに

誤解があっては困るので、念のために附記するが、筆者は、リスクがあっても怖れずに住めと主張しているのではない。避難した被災住民がもとの土地に戻るのが復興であるというのでもない。安心、安全でない環境からは、できるだけ遠ざかるにこしたことはない。しかし、実際のところ、日本では、首都東京をはじめ、大阪、名古屋などの巨大都市の大部分の範囲が、行政から「災害危険地域」には指定されていなくとも、筆者の言う、グレイ度が高い地域にはいる。この実態は、広島でも同様である。だからこそ、場所による被災リスクの形と大きさの違いを把握し、今後の減災のために生かすべきであると言うのである。それには、そのための調査が、専門家や行政によってだけでなく、住民主体でなされる必要がある。人々が、自己の判断で生活設計もてることが肝心だからだ。拙論では、さらに、その際に自然についての理解、とくに地形・地質学的な視点や知識が求められることを強調した。この点に関し、さらに若干のコメントを加えておこう。

災害が起これば、いわゆる専門家は、その要因を解明して、今後の防災につなげようとする。住民も行政も、そうはいかない。時間をかけた要因究明よりも、当面の事態への対処を急がざるをえない。そこに、一般にあまり知られていない別の問題が絡む。それは、この数 10 年、古い専門常識が風化したり、逆に工学的技術として悪しく定式化し、マニュアル化したりしていることである。この問題が 2014 年広島土石流災害に際してしても典型的に発現したのであると思われる。

広く日本の災害、環境破壊に見られる問題、とくに災害・防災科学に潜む災害素因について、筆者が最近痛感しているのが、日本の全社会的な自然忘却、とくに地質無視である。この問題が 2014 年広島土石流災害に際してしても典型的に発現したのであると思われる。そうなる要因の一

つは、災害を起こす自然そのものが複雑系であるからであろう。しかし、そのためもあってか、災害に関する地球科学に、古い研究の無視や“専門馬鹿”的混乱が見られる。実際のところ、自然を無視した都市化と地学教育が壊滅的事態に陥っていることなどもあって、日本の人々の自然や自然史に関する知識、理解は甚だしく低下している。大学をでた専門家の自然理解には、しばしば農村の古老の失笑を招くほど欠落がある。拙論の初めに、用語の概念や用法について記したが、その大部分に地質や地形に関する言葉を挙げたのも、このことを遺憾と思っているからである。ともあれ、現地を知り、被災もした住民の主体的行動や参加は、実効ある防災的地域づくりに必須である。

引用・推奨参考文献

- 1)池田 碩：花崗岩山地の解体過程について—信楽山地南縁・田上山地を事例に一，1976，XX，1-22.
- 2)池田 碩：花崗岩地形の世界，古今書院 1998，206p.
- 3)大屋鐘吾・中村八郎：災害に強い都市づくり，新日本出版社，1993.
- 4)大八木規夫：花崗岩類地帯の崩壊と風化帯構造の関係—島根県大原郡地方の一例—，災害地質討論会論文集，山地・丘陵地に発生する災害に関する諸問題，1967，26-42.
- 5)大八木規夫：島根県加茂・大東花崗岩類地帯における風化帯の構造と崩壊，防災科学技術総合研究報告，14号，1968，113-127.
- 6)大八木規夫・内田哲夫・鈴木宏芳：加茂・大東地方花崗閃緑岩地帯における風化帯の粘土鉱物（第1報）—風化生成粘土鉱物とその生成系列—，国立防災科学技術センター研究報告，第2号，1969，21-44.
- 7)寺田寅彦：寺田寅彦随筆集，第5巻，岩波文庫，1948.
- 8)越智秀二：8月20日未明に発生した広島市の土石流について，そくほう 703，2014，4-5.
- 9)柏木日出治：花崗岩の風化の研究（予報），広島大学地学研究報告，no.12，1963，319-342.
- 10)木宮一彦：花こう岩類の物理的風化指標としての引張強度—花崗岩の付加・第1報—，地質雑，81，1975，349-364.
- 11)木宮一彦：三河高原の風化殻とその形成時期—花こう岩の風化・第3報—地質雑，87,1981，91-102.
- 12)京都大学防災研究所地盤災害研究部門：2014 広島豪雨災害時の斜面崩壊・土石流について，速報その1～4，2014.
http://www/slope.gpri.kyoto-u.ac.jp/disaster_reports/20140820Hitoshima/2014Hiroshima_rep1.html
[reports/20140820Hiroshima/2014Hiroshima_rep2.html](http://www/slope.gpri.kyoto-u.ac.jp/disaster_reports/20140820Hiroshima/2014Hiroshima_rep2.html)
[reports/20140820Hiroshima/2014Hiroshima_rep3.html](http://www/slope.gpri.kyoto-u.ac.jp/disaster_reports/20140820Hiroshima/2014Hiroshima_rep3.html)
[reports/20140820Hiroshima/2014Hiroshima_rep4.html](http://www/slope.gpri.kyoto-u.ac.jp/disaster_reports/20140820Hiroshima/2014Hiroshima_rep4.html)
- 13)木村春彦：分級機構について—堆積機構の基礎的研究（その7）—，地質雑，62，1956，732，472-489.
- 14)木村春彦：災害総論，法律時報，49，6. 47-56.（国土問題 Now12，木村春彦論文集 1980 に収録されている。）
- 15)黒田和夫：風化花崗岩による山くずれ多発地帯の地質・地形上の特性について，第3回災害科

学総合シンポジウム論文集, 1956, 70-73.

- 16)小出博：応用地質—岩石の風化と森林の立地，形成選書，古今書院，1952，177p.
- 17)小出博：山崩れ，形成選書，古今書院，1955. 205p.
- 18)小出博：日本の国土—自然と開発，上.下，東京大学出版会，1973，556p.
- 19)瀬戸昌之：「除染」すれば復興できるのか，人間と環境，41，6，2015，76-77.
- 20)志岐常正：山地—山麓災害，修学院災害—三原則の実践，グラニユール (granule)，環境問題について，国土問題 61，2000，pp. 92-107.
- 21)志岐常正：防災教育の課題と問題点，大阪保険医雑誌，2014-2，no.569，2014，pp.28-33.
- 22)志岐常正：2012 京都南部水害が語るもの，月刊地球，407 号，2013，483-487.
- 23)菅野一郎編：日本の土壌型—その生成・性質・研究法—，農山漁村文化協会，1964，469p.
- 24)田中勝章：物理探査による深層風化マサに関する 2，3 の問題点，1967，Xxx.
- 25)Tanaka, K.： Study on the deep seated weathering of granite: part 1. Jour. Jap. Ass. of ground water hydrology, no.12, 1967, 1-8.
- 26)土質工学会マサ土研究委員会：マサ土の工学的性質とその取り扱い指針，1970，191p.
- 27)土質工学会編：風化花崗岩とまき土の工学的性質とその応用，土質基礎工学ライブラリ 16，土質工学会，1979，316p.
- 28)土木学会・地盤工学会：平成 26 年広島豪雨災害合同緊急調査団・調査報告書，土木学会中国支部，2014，796p.
- 29)日本応用地質学会：斜面地質学—その研究動向と今後の展望—，日本応用地質学会，1999，294p.
- 30)日本の地質「中国地方」編集委員会：日本の地質 7—中国地方，共立出版，1987，288p.
- 31)藤井昭二：災害の進化，新潟大学地鉱研究報告，4 号，1976，401-496.
- 32)藤田和夫：日本の山地形成論，蒼樹書房，1983，466p.
- 33)藤田和夫：変動する日本列島，岩波新書，岩波書店，1985，228p.
- 34)藤田崇：2014 年広島土砂災害について，第 24 回環境地質学論文集，159-162.
- 35)増澤鯨男監修 平井利一編著：全訂新版 ボーリングズを読む，理工図書，1989，220p.
- 36)松井健：風化のサイクルについて，風化研究会誌，No.1，1974，2-6.
- 37)松尾新一郎監訳・Dorothy Carroll 著：岩石の風化，ラティス，1974，246p.
- 38)松尾新一郎監訳・C.D. Ollier 著：風化—その理論と実態，ラティス，1971，417p.
- 39)三浦清：島根県加茂町付近の花崗岩類とその崩壊について (I)，(II)，岩鉱，1966，1967，56，57，256-283，11-24.
- 40)三浦清：深成岩の風化に関する研究—第 1 報 新第三紀末の赤色風化作用による江津深成岩からだの風化，応用地質，14 巻 3 号，1973，87-102.
- 41)三木幸蔵：わかりやすい岩石と岩盤の知識，鹿島出版社，1978，318p.
- 42)宮崎政三・高橋彦治：土木地質学，共立出版，1970，494+12.
- 43)谷津栄寿：平衡河川の縦断面形について，資源研彙報，1954，1955，33，15-24，34,14-21，35，1-6.

注) 図の説明

注 1) 図 1：深層風化帯模式図。

風化帯は層状に発達する。これをⅠ～Ⅴに区分し、さらに土壌部をⅥとした。節理に水が浸透し、そこから風化が進むため、中度の風化帯では、風化度が不均質になる場合が多い。断層活動によって急な斜面が形成され、谷がそれを深く削ると、このような場所が谷底に露出する。高所からの土石流に叩かれれば、かなり堅硬な岩塊が、節理で岩盤から外れて土石流に加わる。

注2) 図2：シートブロック崩壊模式図（谷頭凹地形から見上げたスケッチ。スケール不同。）

除荷による節理は山の谷頭部でも発生する。地表面に平行なものは岩盤をシート状に割るが、それに直下な節理もできる（他の理由によるものもある。たとえば斜面では、重力も働く）。そのために生まれた不安定な岩塊は、豪雨を誘因として崩落し、周囲の風化土砂などともに土石流をなして山麓へと流下する。地震動が働いても崩落する。なお、赤松はしばしば岩盤の割れ目に根をはり、割れ目を拡大する。

注3) 図3：2014年土石流災害の発生地の地質と土石流流下痕分布（緑井・八木地区）模式図。

ホルンフェルスと花崗岩との境界は、かなり推測による。より正確には、越智の報告を見ていただきたい。しかし、多くの土石流がホルンフェルス分布地から発していることは疑いない。土石流発生の高度は高、低の二つにはっきり分かれる。停止した位置も、東西で異なる。なお、砂を含む泥水が流れた範囲は、この図では示せなかった。