

土石流災害訴訟にみられた防災論議

Discussions on Debris Flow Disaster in an Administrative Litigation

北海道土木部

笠置 哲造

北海道大学農学部

新谷 融

Division of Civil Engineering, Hokkaido

Tetsuzo KASAGI

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

Tohru ARAYA

Abstract

The sufferers from a debris flow disaster which happened to occur by a heavy rain at a northern mountainous area of Honshu Island in the 1970's, claimed that the Government should accept liability for the losses and damages. It was strictly discussed that the scientists and engineers related to the debris disaster prevention could forecast the time and place of the debris flow occurrence and take an effective prevention measure before the occurrence or not. The big gulf of scientific recognition was revealed between geological or geomorphological aspects and erosion control engineering ones during the discussions. It was clarified that the significant gulf resulted from the difference of the time and spatial setting for the future phenomena.

キーワード：土石流，災害訴訟

はじめに

「自然変動現象発生とこれによる被害の実際とを予見し得た」とする主張は、しばしば災害後の被災者側から出されるもので、そのたびに我々防災関連の技術者・研究者を困惑させてい

る。筆者らは、昭和50年代に生じたある土石流災害訴訟を通して論じられた防災工学・防災技術（行政）についての被災者側の認識と我々防災担当者側の認識とにおける、何点かの大きなズレを痛感してきた。ここでは防災工学の一分野としての砂防工学を取り扱う現象と、その現象が起こる場及びこれらの現象を構成する物質ならびに時間尺度について詳述し、防災工学的自然現象観ならびに防災工学と防災技術一般について論ずることとした。

1. 防災工学に関する基本的認識

防災工学的自然現象観について筆者らは以下のように考えている。すなわち、防災工学は防災工学上の空間的時間的尺度の現象を研究対象とし、またその尺度で現象再現をしようとする立場であると考える。そして、その空間的時間的尺度で表現できる過去の変動履歴から考えられる自然界の挙動と人間の住み方との関連が防災工学の研究対象であると考えるものである。何故ならば、空間と時間の尺度を無視すると工学としての目的も方向も見失うことになるからである。

たとえば、海岸工学における海面（潮位）の変化に対応する海岸護岸天端高についてみると、これは、我々人間のたか々100年～200年程度の体験から割り出した経験値に基づいたものであり、また常識的な値でもある。ところが、海岸工学の時間の尺度を地質学的オーダーにまで拡げ、たとえば今から5～6万年前までに時代を遡りこの期間に体験した事実を基にして海岸を考えるものとすれば、海面の変化は最高で現在の海面より10メートル以上も高く、最も低い時代には現在よりも100メートル以上も下がった時代があったと言われていることから、海岸工学で研究対象とする海面変化の幅は少なくとも110メートル以上でなければならないことになる。しかし、このような議論は非常識であり、海岸工学の空間的時間的尺度を無視した議論となる。

なるほど、過去の地球の長い歴史の中には、今日考えられないような巨大な変動現象が起こったかも判らない。しかし、それだからと言って、無制限に過去の変動現象を追究することは防災工学の立場からは許されないものと言える。何故ならば、防災工学的自然現象観にもとづく自然の認識とその解明は、防災工学の空間的時間的尺度に裏付けられていなければならぬからであり、このことは、人間の生活との係わりを前提とするあらゆる防災工学の分野において、守られなければならない基本的なルールだからである。

防災工学の研究対象は、自然界での変動現象とこれに直接的・間接的に関連する環境変化であり、これらの現象を構成する諸種の因子を把握し、現象の法則性を探り、変動現象を我々人間の生活との係わり合いという視点で研究することがその目的である。別言すれば、自然界に起こる挙動を我々の生活空間と生活時間との係わり合いにおいて研究し、その理論を確立する

ことが防災工学の研究目的となる。そして、防災技術は、既往の経験則とともにこのようにして得られた研究成果を実地に展開し、その挙動を人為的にコントロールする方法論であるともいえる。

このように、防災工学は、自然界で起こる現象を認識しながら人間の住み方を考える学問分野であり、防災技術はそのための生活空間確保手法として位置づけられる。このことが同じ自然災害科学に属する学問分野でも「理学」と「工学」との基本的現象認識の違い、自然現象の捉え方、考え方の相違に連なる重要な点である。

したがって、本件で争点の一つとされた土石流現象を論ずるに当たり、この現象は砂防工学的見地に立脚した土砂礫の移動現象の一形態として、論じられるべきであるという共通認識が前提とされなければならなかった。

いま、防災工学の基礎の一つと考えられている地質学あるいは地形学の研究対象となる“場”と防災工学の研究の“場”を比較してみる。地表は地球の最外殻であり地質学が研究対象としている地殻の表面を覆う部分を指す。もっとも、地質学では地殻を覆う地表は研究対象として採り入れていないから、地質学で研究対象とする場と同列に並べることに問題が有ると言うかも判らない。しかし、地質学ではほとんど無視している地球の最外層の部分が防災工学の研究対象の場となっている事実は、防災工学で取り扱う変動現象の実態を認識する上に極めて重要な地位を占める。

地質学に関する初学者のための入門書などの冒頭には地質学の概念、研究対象の場などに関する記述がある。たとえば、「地殻を対象とする部門が地質学である」とし、また、「地形学は地質学、とくに第四系の地質学を無視しては、ほとんどなりたたない」と記述されていることから、やはり地形学も地質学的な研究の場を持つものであろうと考えられる。ここでは我々砂防工学で対象とする地表はこれらの学問分野の研究対象の場からは完全に無視されているかのようである。

このことは、時間尺度と共に極めて重要であり、自然現象に対する認識の根本に触れるものであって、場の問題は現象の空間的認識、つまり物理的な拡がりの認識のしかたを決定的に左右する。たとえば、大きな池の周囲を表現するときにミクロン単位で認識しようとはせず、又一方では衣服にできたカギ裂きをキロメートル単位で表現しないことと同様な意味である。

いま、地質学と砂防工学の研究対象とする場の大きさを比較してみる。地球の赤道半径は約 6,378 キロメートルであり、地質学で対象とする地殻部分の厚さは日本の場合約 30～40 キロメートルとされている。ところで、砂防工学では研究対象とする地表の厚さは多く見積っても数 10 メートルである。いま、仮に地表の厚さは 30 メートルとしてこれらを赤道半径と比較してみると、地質学の研究対象となる場は赤道半径の 0.0047～0.0063、つまり 1,000 分の 4.7 ないし 6.3 となり地表は、0.000005 つまり 1,000,000 分の 5 となる。

また、地殻と地表とを比較すると、 $0.0008\sim0.001$ となり地殻の1,000分の1程度と計算され、地表がこのような微少な部分であるから地質学においては地表部分を無視することになる。ところが、砂防工学は地表の変動と人間の住み方を考える学問分野であるから地質学では無視している地表が重要な場であり、逆に地殻そのものはほとんど無視しても支障がないとさえいえる。

このように、研究対象の場の認識の違いは空間尺度の違い、さらに時間尺度の違いへと発展していくことになる。

2. 空 間 尺 度

一方、自然科学の研究方法の一般的手法は研究対象となった自然現象を観察してそれを測定し、数理的に統合して法則性を見出していくというものである。そしてこの場合、現象の物理的な大きさの認識、すなわち場の大きさに応じて測定の指標は適当に選ばれるべきものである。したがって、場の大きさが全く異なる学問分野においては、対象現象なり事象の大きさあるいは拡がりも当然異なるから、それを認識し表現する指標（空間尺度）も必然的に異なるものになる。

たとえば、地表面の昇降あるいは水平変位という簡単な表現もこれが地質学や地形学的尺度の表現であるとすると地下数キロメートルに及ぶ断層運動や褶曲運動のような地殻変動を意味することになり、一方、砂防工学の尺度では高々地表面下数メートルあるいは数10メートルの地すべりや水の侵食などによる地表変動を表現する言葉となる。このことから、砂防工学の空間尺度からは地質学、地形学のそれは大き過ぎ、逆に地質学や地形学にとって砂防工学の空間尺度は余りにも細かすぎてそれぞれ研究目的に合う現象の表現法とはならない。

たとえば西村嘉助は「自然的基礎（1968年・大明堂）」において地形の規模を表現するときの尺度について表-1のように表現している。ところで防災工学は地球表面の変動のうち人の生活に直接影響を及ぼす変動を対象とするものであるから、表-1に分類した微地形に類する地形の変化より小規模な地形変化を問題にするべきであり、その規模は大きくとも1,000分の1の地形図上にかろうじて表現される程度のものであろうと考えられる。その理由は通常防災工事で用いられる地形図（平面図）の縮尺が1,000分の1であり、この地形図上で表現される高さの変化を示す等高線が記入される基準が2メートル間隔であることが一つの理由と考える。

人の生活にとって地表面が2メートル程度も上下するという現象は、その居住ということを考えると生活に甚大な影響を与えるもので、極めて大きな地表の変化と言うことができる。たとえば、道路も、鉄道も、住居も学校もその他人間が一箇所に定着して生活するという観点から地表の変化を捉えるなら、2メートルにも及ぶ地表の上下動は間違いなく生活できない場所

表-1 地形の規模（西村嘉助1968）

	地形基準	営力	時間	地形図	写真	観察
大地形	世界大陸的	総営力	10 ⁸ 年～	10 ⁻⁷ ～	宇宙写真	人工衛星
中地形	地形体 (山地・平野・島・その他)	複合営力	10 ⁶ ～10 ⁸ 年	10 ⁻⁵ ～10 ⁻⁷	航空写真	航空機
小地形	地形要素 (地形面・川・その他)	単一営力	10 ⁴ ～10 ⁶ 年	10 ⁻³ ～10 ⁻⁵	地上写真	自動車
微地形	地形現象 (構造土・ポット) (ホール・その他)	単純営力	～10 ⁴ 年	～10 ⁻³	肉眼	徒歩

と言える。

さらに、1,000分の1の地形図上では10メートル四方すなわち約30坪は1センチ四方であり、この程度の地表の変化がこの地形図上で議論できる最小の単位である。さらに普通の平均的住宅の建坪が30坪程度であることと併せ考えても、1,000分の1の地形図上に表現される地形変化の下限が人間の生活にとっては上限であろう。

のことから防災工学の空間尺度はいかに大きく探っても地表変化が1,000分の1の地形図に表現できる程度に止まるもので、具体的には高さで2メートル内外、平面的拡がりでは10メートル×10メートル=100平方メートル程度の変化を一応の基準単位とするべきものであろうと考える。

これらを総合して考えると、同じ地球を研究対象とする自然科学の分野であっても地質学や地形学と防災工学とでは研究対象の場の認識方法及びそれを表現する空間尺度において共通の部分は少なく、お互いの空間尺度でそれぞれ個別の研究対象現象を適確に表現することも説明することも困難である。

自然科学で取り扱う大部分の自然現象は、これをあらゆる分野の研究者、技術者がそれぞれの学問分野に個有の見方で観察したとしても、それらの自然現象を左右する真の法則は同じであるから常に同一の認識を持つという考え方はいかにも真実らしい。ところが、それぞれの自然科学の分野にはそれぞれの自然現象観が用意されているので、同一現象を観察しても同一の認識を持つとは限らない。

たとえば、糸の先に石を結び付けて振り回したときの石の運動の軌跡は、これを真上からみると円になるが、真横からみると直線になる（図-1）。この関係は、目の位置（視点の違い）による同一現象の見かけ上の違いを表すものである。

また、段階を歩いて下りる人の頭部の軌跡を階段の横方向5メートルの位置と100メートルの位置から観察した場合、前者は階段の各段に近い軌跡として、後者はほぼ直線として観察されるであろう（図-2）。

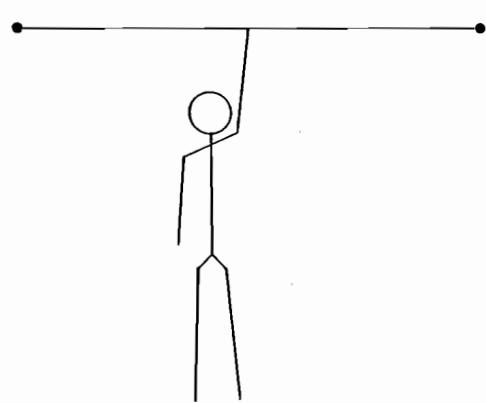
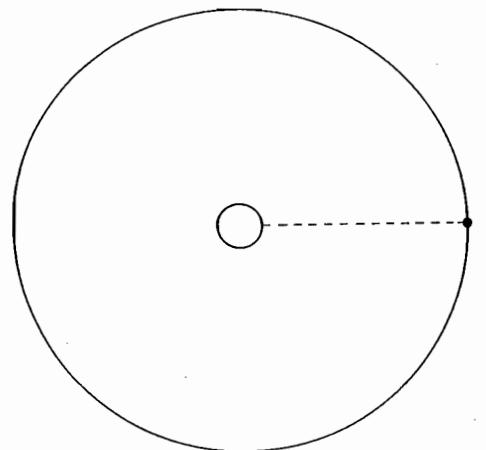


図-1 視点の違い

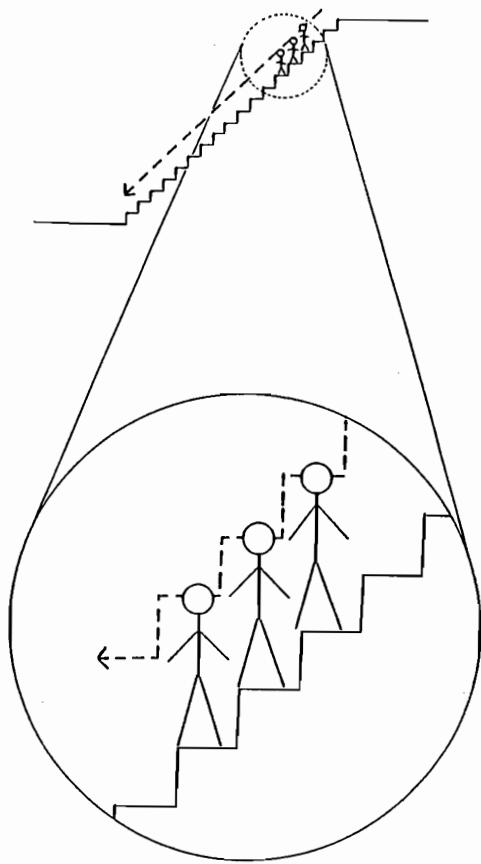


図-2 視点の違い

さらにいま、5センチメートル四方ぐらいの白い画用紙を用意して、この画用紙を赤の色鉛筆で塗りつぶし、これを別の人観察させる。一人はルーペ（拡大鏡）を使って、一人は30センチメートルの位置から、他の一人には5メートル程度の距離を置いて観察させたとすると、最初の一人は白地の用紙に赤い斑点があると判断し、次の一人は白い紙に着色したものと思い、第三の人は赤い紙か布であると判断する。

これらの例は同じ現象でも視点が変わると異なる結論に到達する場合が十分に考えられることを示すほんの一例に過ぎない。

3. 時 間 尺 度

防災工学的時間尺度とは、防災工学が研究対象とする現象の時間的拡がりを表現する指標のこととで、このことを特に取り挙げて論ずる理由は、空間尺度と表裏をなす重要な概念であり、変動現象の認識とその表現には不可欠の要素であるからである。

一般に、自然界で起こる現象の最大規模は長い時間の経過の中で起こるものほど相対的に大規模であり、また、俗に「世にも稀な現象」とか「かつてない現象」とか言われる現象の発生する可能性も同様に相対的に高くなる。一方、人間の住み方を考える学問分野である防災工学においても、その研究目的に見合った現象認識のための時間の長さの指標すなわち時間尺度が空間尺度と同様に考えられなければならない。

このことに関し、岡本隆一が「土木技術資料」(1979)で非常に興味深い議論をしているのでここにその一部を引用する。

「地球が一つの惑星としての形をなしてから現在まで、すなわち地球の歴史は約45億年と言われている。生物の出現が約6億年前、人類の出現が約180万年前、遺跡文化が約5,000年前であるならば、今、100万年を1mとして長さで表現すると、地球の歴史が4,500m、生物が出現してから600m、人類が出現してから1.8m、人類が遺跡として残るような文化を持ってから5mmと云うことになる。」

ちなみに、土木構造物の耐用年数を100年とすると、これが0.1mm。…中略…これを先の⁴⁰K-⁴⁰Ar法の誤差などと比べてみると、我々が電子顕微鏡の世界で暮らしているのに対し、地質の世界は自動車の走行距離計位の異なった次元の世界であると云える。

さらにもう一つ、この地球の歴史を時間で表現してみると、元日に地球が誕生して約45億年を1年とするならば、生物の出現は11月13日頃であり、人類の出現は12月31日の午後8時30分頃となり、遺跡文化はやっと新年の時報の35秒前と云うことになる。」

この論文から我々は自然科学の研究においては各学問の研究目的に応じた時間の長さの指標、つまり時間尺度がそれぞれ採用されるべきものであることを知る。すなわち、人類の遺跡文化の歴史は地球の歴史を測る時間の尺度を以って議論することはできず、農作物を育成して収穫することを中心的研究目的とする農学の時間尺度で森林の成育や經營を考える林学を論ずるものもまた無意味である。

防災工学は地表変動現象及びこのことにより引き起こされる自然環境の変貌との係わり合いで人間の住み方を考えることを目的とした学問の分野であるから、防災工学で取り扱う現象を表現する時間的尺度は、人間の生活感覚に近い時間の長さ、これを生活時間尺度と呼ぶならばまさに生活時間尺度を以って防災工学の時間尺度とすることが適当であると考える。そして、この時間尺度で表現できる時の経過の中で起こり得ると考えられる変動現象について、その起こり易さやその規模、メカニズム等々を研究するのが防災工学であるといえるであろう。

では、この時間尺度をいかなる基準と手法によりどのように定め、それはどの程度の長さが

適当であるかが新たに問題点として提起される。このことに関し今日の防災工学の研究成果に基づく定説はない。しかしながら、人間の生活時間は人間の寿命を一つの基準として捉えられるものであること、また、工学的常識という意味も含めた生活時間との兼ね合いで、防災工学の時間尺度は大きく採っても100～200年内外が妥当であると考える。その理由は、自然界と人間界の関わり合いを問題とするとき、工学的に自然現象を認識するためには人間の体験が基礎となっていると考えるからに外ならず、そうであるならば人間の体験が伝承される時間の長さを一応の目安とする必要があり、現時点においては100～200年内外という時間の長さは伝承により体験が生かされる上限の長さであろうと考えるからで、同時に人間の生活感覚ともマッチした常識的な長さと言える。

4. 予見可能性

予見という言葉は広辞苑によると「事がまだ現れない先に、推察によってその事を知ること。予知。」とある。自然現象の予見も何らかの科学的合理性を有する推察の手法により将来の現象の知見を得るというものであり、自然科学で一般的に用いる手法の数式は科学的合理性を有する推察の手法である。

すなわち、自然現象の動態、たとえば面積や体積の膨張や移動距離などの変化が時間の流れと一対一に対応している連続的な現象であれば、この現象を支配している因子のからみ合いは一般的に現象の動態について予見することは可能である。たとえば、或る物体が真空中を落下するときの経過時間 t と落下距離 l の関係は初速度（落下し始めたときの速度）を v_0 、加速度を g （重力の加速度）とすると、 $l = v_0t + 1/2 gt^2$ で表され、落下し始めてから一定の時間を経過したときの物体の位置を求めることができる。

しかし、時間の流れと現象の現れ方とが一対一の対応をしていない不連続な現象は、一般的にその現象を予見することは困難となる。また、現象の不連続性が規則性を持つ場合には予見が可能となることもあり、長期間の観察の積み重ねから周期性を仮定し、その周期的な現象をもたらす機構を数理的に明らかにすれば、途切れた時間を他の媒介により繋ぐことができ現象の予見は可能なものとなる。

しかしながら、それ以外の場合は時間的に不連続な現象を予見することは不可能であると考えなければならない。それは、まず実際の現象の全貌を観察することが困難であるため、現象を支配する因子のからみ合いがどのようにになっているのかが判らないこと、第二にその結果、現象を数理的に表現できないことが主な理由として挙げられる。

土砂移動現象を構成する物質あるいは因子はある程度知られていても、現象を構成する土砂の挙動そのものが極めて不規則なもので、時間的にも不連続的なため、各因子のからみ合いに

関する規則性は良く判っていない。したがって、少なくとも数理的に将来の土砂移動現象の態様を予めることは不可能であり、また定性的予見すら困難であると言わざるを得ない。

なお、ここで厳密な意味で予見が不可能であっても、たとえば実地調査した渓流について統計的な手法を用いて確率的に表現することは可能ではないかとの疑問が提起される。しかしながら、本来統計的手法による現象の推定は、同一場における同種の現象あるいは事象に関する標本の数にその精度が支配されるものであり（また標本の採用のしかたにも大きく影響を受ける）、実際に、動態観察が難しい土砂の挙動を統計的に処理する道も半ば閉ざされている。また、さらに、単一の渓流では不可能であっても毎年のように日本の全国各地で土砂による災害が発生しているのであるから、それらの観測資料を標本とすれば可能であるとの主張もある。しかしながら、本来土砂の移動現象は、各山地渓流毎に個別の挙動をするものであると言う外はなく、それは、各個別の渓流について勾配、渓床幅（谷幅）、流域面積、流下する土砂礫の粒度等々が全て異なることに起因するものであり、常識的にも統計的標本の概念とは合わないものである。ちなみに、本件土石流災害と同時多発的に発生した土石流は、それぞれ異なった土砂の堆積洗掘状況を呈しており、これら各渓流における土砂移動現象の態様は大きく異なるものであった。

以上のことから、「土石流発生」に関し、「渓流堆積物の流動による土石流の場合に見られる周期性（一般に普通の渓谷ではその周期は数10年から数100年といわれている）」と、あたかも土石流の発生が十分に予見し得るかのような主張は、非科学的と言わざるを得ない。

或る自然現象の発生に周期性があると言えるのは、その現象の実態を数理的に解析・表現されることは必要であることは自然科学の常識であり、土石流発生に一般的に周期性があるとは言えない。なるほど、我が国の砂防に関する参考書や論文等のうちの古典的なもののいくつかには「土石流発生の周期性や山地荒廃の免疫性がある」かの如く記載しているものもある。しかしながら予見可能性という意味からは今日では否定されており、また、もし仮に過去の土砂移動過程を歴史的に追跡することができる場所があり、その土砂移動過程の繰り返しに時間間隔の規則性、いわゆる周期的なものがあったとしても、このことだけでその場所の将来の変動時期を予見することはできない。

5. 土砂礫の挙動と不連続性

多くの一般の人々にとって河川や渓流で土砂や礫が移動しているという事実はなかなか実感として理解し難い。それは、土砂の動く様子を、河川流水のように直接目でみることが少ないのであろう。しかし、この土砂礫が実地の河川渓流において実際に動く状況をつぶさに観察するということは、砂防関連の研究者・技術者にとっても実際問題として不可能である。し

かし、多くの人は河川、渓流の状況が洪水の度に変化すること、たとえば河川の中州が形成されたり消滅したりという事実や、河岸が洪水時に削り取られる様子などを目撃した体験はあるはずで、これらのことと想起して土砂礫が移動するということが理解されている。

砂防工学で取り扱う土砂移動現象は表面侵食、渓流の縦・横侵食、山崩れ、地すべり、土石流等である。しかし、実地の渓流において、これらの諸現象が各個別に発生するとは限らず、むしろ、これら多様な土砂移動形態が一回の降雨に伴う洪水に際し複合的に出現しているのが普通である。しかも我々がこれらの変動事実を後で結果論的に知るのみである。

山地渓流での移動物質は、水、土砂、石礫の外に樹木の幹、根、枝葉や草本植物等、種々雑多な有機物、無機物で構成され、これらが混然一体となって一つの流動体を呈している。この点からだけでもその動態には極めて複雑な面があり、砂防工学的見地から数理的にこれを把握し表現することに多くの困難さがあることは容易に推察できるであろう。たとえば、移動に関する物質のサイズ（粒径）も、おそらく直徑数ミクロンの微粒子から1メートル以上の巨礫までもが含まれており、それぞれ独自に固有の動きを混合物の中で繰り返していると考えられる。細粒の土粒子は容易に水と一体化して混濁し、水の挙動に従い海・湖沼まで達するであろうし、一方で直径が20~30センチメートルを越えるような礫は水と一体化することはないから、礫固有の挙動を捨てず、ときに慣性力で混合物の外に飛び出そうとしたりする。

さらに、これら礫の挙動はその粒径の差（大きいか小さいか）、比重（同じ容積でも礫の化学的組成により重いものと軽いもの）、形状の差（円いか角ばっているか、あるいは偏平か太いか）等によっても当然異なってくる。

砂防工学で取り扱う土砂礫が実地渓流を移動するときの特性はいろいろ考えられる。しかし、その動的特性の最も重要なものは時間的に不連続な動き方をするという点にあり、このことが、相まって土砂移動現象解明の困難さの主因をなしている。

元来、土砂は重力の作用により地表面に定着し停滞しているときが最も安定した状態であり、何らかの原因で地表面で移動を開始しても重力の影響を受け続けるから絶えず地表に定着する傾向を持ち続ける。当然、水やその他様々な物質と混合状態で渓流を移動する際にもこの性質は失わず、いわゆる沈む性質を持ち続けている。そこで移動過程の中で周囲の条件が変化すると動きを止め、実地の渓流では土砂の移動特性は時間的に不連続的なものとして我々の目に映る。いま実地渓流における土砂礫を含む混合物の流れを考え（通路は矩形）、近似的に開水路の水の流れで表せるとすれば、その流速をV、勾配・流下幅をそれぞれI・Bとし、混合物の流れの高さをHとすれば混合物の速度は $V=1/nI^{1/2}R^{2/3}$ と表される（ここで、 $R=BH/(B+2H)$ ）。そして、この混合物の単位断面の運動エネルギーは、 $E=1/2 m V^2$ で表すことができ、この混合物中の土砂礫はこのエネルギーEの限度内で移動していることになる。一方、実際の渓流は流下幅や勾配が始終変化し、勾配Iが小さく（あるいはBが大きく）なると速度Vが小さくなり

結果としてエネルギーが小さくなつて、混合物中の土砂礫に作用する重力が顕在化し、土砂礫の一部が堆積することになる。この関係はリアカーを引く人の数と荷物の重さの関係にも似ており、リアカーを引く人の数が少なくなると（エネルギーが小さくなると）重い荷物は下ろす以外になくなる（土砂礫の一部が堆積する）。その結果、混合物中の土砂礫の一部と水は渓床に勾配があり流路がある限り動きを止めることはなく、一方で、ある地点で堆積してしまった土砂礫は停滞してしまうので、一度の洪水における水の動きからその土砂礫の動きを見ても時間的に不連続なものとして見えることになる。土石流は多量の土砂礫を移動させるが、災害現場では土砂と一体となって動いていた水はどこにも見出すことはできず、土砂礫だけが取り残されているだけである。このことから、土砂礫の動きは“移動する場面”と“停滞している時”とを持っているものであること、つまり不連続的な動き方をするものであることが判る。

自然科学の研究にとって現象実態をつぶさに観察することが研究の第一歩である。ところが、土砂礫が実地渓流で移動する状況を直接観察することは实际上不可能であることから、過去の土砂移動現象の痕跡を歴史的に解析してそのときの土砂移動現象の動態を推定し理論を組み立てるという作業が行われる。そのとき、過去の土砂移動過程の痕跡を捉え得るという点は土砂移動現象の不連続性に起因するという事情が第一に挙げられる。次に、そのような手法で組み立てた理論は検証しにくく、水の流れのように再現すること、さらには動態を数理的に表現することの困難さなどがあげられる。

一般に自然現象を科学的に解析する場合には数理的に整理するという手法が用いられる。流体力学や物理学においても自然現象の動きを数理的に表現して研究が進められている。ただし、ここで注意をしなければならないのはその場合、研究対象とする自然現象の動態が時間的に連続であることが要求され、逆に不連続な動きは一般に数学的に表現することは困難となる。

たとえば、等しい速度 u で走行し続けることが予め定められている自動車の運転開始からの走行距離 (l) と時間 (t) の関係は、

$l = u \times t$ となる（図-3-上）。しかし、運転者が走行速度だけを決めておいて任意に運転している自動車の走行開始からの経過時間と走行距離の関係を一般式で表現することは、図-3-下のような場合を考えると困難となる。

その理由は言うまでもなく不規則な休みの時間 t_1 と t_2 によって自動車の運動が時間的に不規則で不連続になっているからに外ならない。

1回の降雨によりもたらされる雨水は斜面を流れ下り、渓流を流下し、そのとき多量の土砂礫もこの水と一体化して移動する。しかしながら水はそのまま時間的に途切れることなく海に至るのに対し、土砂の動きは水と分離した停滞する時間があり、この実態を数理的に表現することも、直接観察することも、そして実験で再現することも難かしく、それは停滞する時間をどう定めるかという問題に集約される。

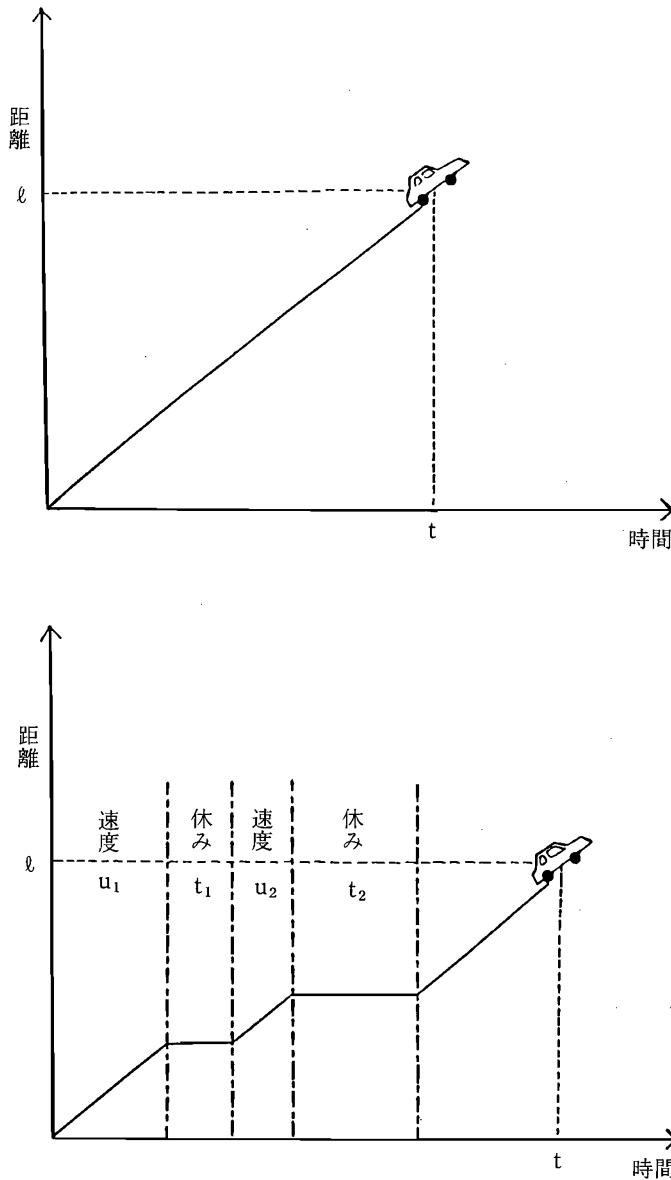


図-3 不連続現象

しかしながら、別の立場から、土砂移動の軌跡は連続的であるから停滞する時間の存在を考慮しなければ数理的に十分説明できるはずであり、不連続性を以って数理的解析が不可能あるいは困難であるとはいえない、との考え方もある。ところが、砂防学では土砂移動現象を動的に把握しなければその目的は果たせないのであるから時間的不連続か連続かと言う点は避けて通ることはできず、ここに砂防学的自然現象観の特殊性と意義が存しているとも言える。

さらに、変動現象を構成する土、石、礫、水などの無機物や木の根、幹などの有機物は、混合物として一体として移動する間もその本性を変えることはなく、それだからこそ、たとえば土砂礫の堆積特性による時間的不連続性、停滞などという特異な挙動を示す。

たとえば、土石流映像の流動状況を見ても土石流のフロントの巨礫が弾き出されて停止する状況が良く判り、これも巨礫がその特性を失っていないことの証拠である。また、停止礫が移動し始めたり、一度停止した土石が再移動したりする状況が良く判り、これらによっても土砂礫の移動がそれらを運ぶ流水の動きとは異なり時間的に不連続的な動き方をすることが理解される。

6. 不安定と危険な土砂

「不安定」という言葉は、広辞苑によると「安定せぬこと、おちつかぬさま」となっているから、不安定土砂とは「安定せぬ土砂あるいはおちつかぬ土砂」ということになる。しかし、道路の盛土も十分に締固めを行わない場合は安定しない土と呼ぶし、一般に盛土部分は地山よりも不安定であるという使い方もする。このことから、何か外力を予定してそれとの相関で安定か不安定であるかという使い方をしている。また、構造物の安定計算では予定した外力と反力との釣り合い条件から安定、不安定を論じている。したがって、何らかの基準となる尺度がなければ、不安定とか安定とかの問題を論ずることができない。別言すれば用法を取り違えると用語の意味を為さないことが判る。

砂防工学で不安定土砂と呼ぶものは、山腹斜面の不安定土砂と渓床の不安定土砂である。山地の斜面あるいは斜面上の土砂石礫は、地質学あるいは地形学の知見にもとづくと、山地の基岩が風化したり、地殻変動により破壊されたり、あるいは大規模な火山活動により空中に放出された火山噴出物が堆積したものであったりすることから、堅固な一枚岩のようなものではなく、何らかの原因でその構造が破壊されると一挙に崩壊する可能性を秘めており、この意味では全ての山腹の土砂石礫は極めて不安定なものであることになる。しかしながら、砂防工学的自然現象観ではこのような表現が不適当であるのは言うまでもなく、それは、砂防工学の時間的空間的尺度が安定・不安定の基準となるからに外ならない。しかし、このことについて砂防工学では現在のところ実際の山地斜面について、客観的に適確に表現する知見を得ていないのが現状であるから、時間的にも砂防工学の時間尺度となる100年内外の過去について崩れ落ちた履歴のある場所について、その周辺の土砂は不安定であると判断したり、古い崩壊地の頭部や側部にオーバーハングしたりしている土塊等は過去の崩壊の履歴との兼ね合いで崩落することが十分に考え得ることから不安定土砂と呼んだりしているのである。

このように山腹の不安定土砂も渓床の不安定土砂も、いずれも、砂防工学で用いられる以上

は砂防工学の空間的時間的尺度以内で用いられることとなる。

「危険性」という言葉も広く一般に用いられている言葉であるため、ややもするとこの言葉の用法も十分に吟味されないまま、漫然と一定の状態を表現する言葉として用いられ様々の議論が交わされることが多い。しかし、不安定という語同様にその意味内容は普遍的に单一の意味を持つものではなく、やはり、この言葉が用いられる各学問分野に個有の空間的時間的尺度に基づいて用いられなければならないものである。そして、そのときには、人間の生活に直接的に影響を与える現実的な可能性という内容を持つものでなければならない。

すでに述べたように、それぞれの学問分野にそれぞれの尺度に応じた現象表現用語、いわゆる学術専門用語が用意されているが、同じ言葉でも使い方によって異なった意味を持つことも良く知られている。

本件訴訟で議論された争点のうちの「土石流行政は砂防学的知見にもとづく砂防技術及び砂防行政の現実的展開の一端」として捉えられているものと解されるが、そうであるならばその場合の議論に当たっては、用いられている用語についても予め共通の認識を持っている必要がある。その際、共通の認識の基準は、砂防工学の空間尺度と時間尺度の考え方であり、この尺度の枠の中で危険性とか予知予見なども論じられるのが当然である。また「渓谷の堆積物」とか「山腹斜面の不安定土砂」などという用語を動的認識における定義なしに用い、土石流発生との因果関係あるいはその予見可能性等々が論じられた。

砂防工学で研究対象とする現象が起こる場は地球全体の大きさからみるとごく一部にすぎない地表であり、このことが砂防工学で研究対象となる現象の規模決定を支配する空間尺度の取り方の基になっている。そして、このことと砂防工学の時間尺度とは表裏をなすものである。周知の如く、我が国に限ってみても今日我々が日常接している地形が形成されてから 10^5 年以上の時間が経過しているのであるから、谷に堆積している土砂や石礫の中にはこの時間の経過と同様の長い期間谷底に停滞しているものがあると考えることが自然である。

したがって、これら谷底の土砂石礫についてその成因や挙動を様々な学問分野から論ずるに当たっては、各個別の時間的空間尺度を以って論ずるべきであることは当然のことである。砂防学上用いる渓床堆積物という用語も同様で、実地渓流の土砂・石礫の全てを一義的に「渓床堆積物」と表現することはできず、その場所に停滞していた時間の長さも含む概念として渓床堆積物が論じられなければならない。それは、渓床の土砂石礫を時間の流れの中に位置づけて解釈するべきであるからに外ならず、その理由は、土砂の移動が時間的に不連続であるから渓床堆積物が存在していると解するからに外ならない。したがって、渓床堆積物の存在形態を吟味し砂防工学で取り扱う土砂礫の堆積物であるかどうかを検討した後に砂防工学上取り扱い得る渓床堆積物であるかどうかを決めなければならないのである。

一般に、谷底を谷壁の傾斜が急変する地点を結んだ線の連続としてとらえることになると、

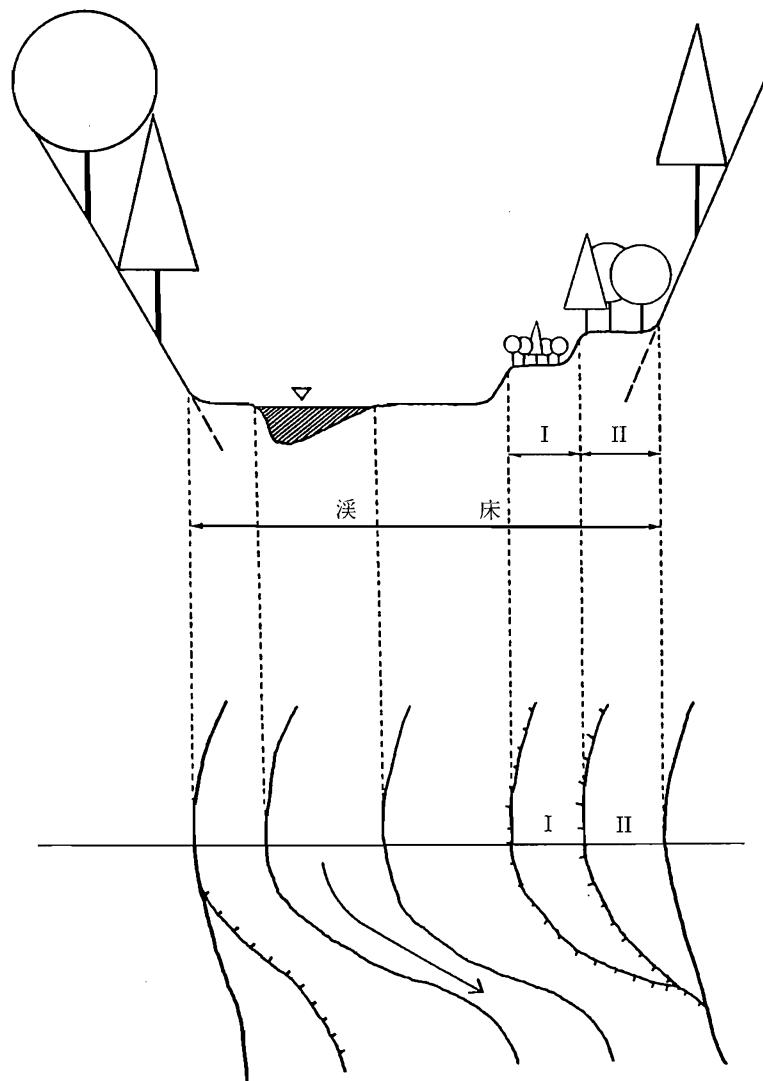


図-4 溪床堆積物

この面の部分の形状は一枚の平面として表現される場合は稀であり、谷を横断的あるいは平面的にみると図-4のような段丘状地形が認められる。そして、図中でI及びIIと示した各部分は土砂・石礫で構成されているのが一般的である。このようなIとIIの堆積面の高さの差 h すなわち段差は、これらI及びIIと区分できる二つの部分の形成に時間の差が存在することを物語るものである。このことは良く知られている海岸段丘や河岸段丘が氷河の消長つまり氷河期と間氷期という時間的差がその形成に大きく影響しているという公知の事実を想起すれば理解できるであろう。また、その物理的大きさ、たとえば堆積の厚さとか段丘状地形の各段差の比

高、平面的拡がりについても同様に砂防工学的空间尺度にもとづく規模であるかどうかが吟味されなければならない。したがって、時間的にも過去数千年、数万年も遡らなければその土砂礫が存在するに至った経緯が判らないという、無限に近いような時間的意味を持つ谷底の土砂・石礫などは、砂防工学では一般に渓床堆積物と呼ぶことはしていない。

7. 砂 防 工 事

砂防工事は、土砂・石礫の挙動の実態と砂防技術の方法論を用いて、現実の山地河川渓流の土砂移動現象を人為的にコントロールするための人工構造物を合理的に配置し、自然荒廃状態の改変によって人間生活空間との合理的調和を図ること、と位置づけられる。砂防工事の結果築造された構造物等の機能や効果は予め明かとなっていることが要求されるが、土砂移動現象の実態把握や変化予測が確立されておらず、したがって学問成果に裏付けられた砂防技術の実地展開とは必ずしもなっていないのが実状と言える。このように良く判らない土砂の動きを人為的にコントロールするための砂防工事を行政が現に対応せざるを得ない理由は、我が国の治水行政の歴史的経緯と無縁ではない。

すなわち、いかに学問的には未解明な土砂の動きであっても、それだからといって人間の生活と無縁である訳ではなく、土砂礫の移動に起因する土砂災害は毎年のように全国各地で発生し、そのため多くの国民の生命財産が危険に曝される以上これを看過することはできないから、これら土砂礫の移動を人為的にコントロールする方策を講じなければならない、という切実な要求から砂防工事を行政が取り込むに至ったものなのである。そして砂防工事の実施に当たっては、対象とする自然現象すなわち設計外力を支配する法則が明確にされていないことから、必然的に砂防工事の効果は砂防工事が実施された実地渓流の変貌を観察することにより確認して修正を加えたり工法の選択を検討したりして、およそ100年間にわたり砂防行政が進められてきたというのが実状である。

例えば、砂防ダムと床固工の施工計画について次のような認識がある。「計画勾配を慎重に推定して設計しても砂防ダム建設後堆砂によってできた新しい勾配は破れやすく、さらに上流の砂防工事の進捗によって流出土砂量の減少や土砂粒径の変化が加わって堆砂線が計画どおりにならない場合が多い。堆砂勾配が計画勾配よりゆるやかなとき、堆砂線上流河床がさらに侵食荒廃するから堆砂線の修正が必要となる。」これは、砂防ダムを設置したことによる谷の渓床勾配変化に関し、砂防ダム上流に堆積する土砂が渓床を高めることにより元の渓床勾配が部分的にゆるやかになることについて、そのゆるやかになる渓床勾配を予め推定してもその通りにならないことが現実には多いということを説明しているのである。

このように、砂防工事を施工することにより実地渓流の土砂の挙動がどのように変化するか

を予測することは難しいものであるとの認識は砂防に携わる現場技術者の共通認識となっている。しかも、これが突発的な土砂礫の大量流出に対処する施設についてのものではなく、半ば恒常に山地渓流で繰り返されている、いわゆる掃流主体の土砂礫挙動とそのコントロール方法についての認識であることを思えば、土砂の移動を有効に処理することの困難さが十分伺われる。まして、土石流のように突発的で莫大な土砂礫が短時間に移動する現象は尚一層未知の部分が多く残されていることから、有効適切なコントロールの手法が未だ確立されていないのも当然のことと言える。

む　す　び

砂防工学を含む防災工学は、樹木・草本・農作物などの植物や昆虫・鳥類・魚類・哺乳動物ならびに人間が共存している地球最外殻の地殻表面で引き起こされる地表の変動を主に取り扱うものであり、その変動は、それぞれの防災工学的時間尺度で表現され論じられるべきものである。さらに、防災工学の目的が地表の変動あるいは環境の変化と人間の生存戦略を考えるものであるとの見解に立脚し、そうであるならば防災工学の時間尺度は人間の生活感覚に近い時間の長さ、すなわち生活時間を時間尺度とすることが適当であり、この時間尺度の中で起こり得る変動現象の規模や頻度、対処の方法論などを考究することが防災工学の内容となる。

この時間尺度の定め方は、人間の生活を基準にするならば人の寿命すなわちライフサイクルとの兼ね合いで100年内外（親子三代による情報伝達期間ならびに未来透視期間； $10^0 \sim 10^2$ 年）とすることを妥当としてきた。しかし近年の国土未来観は地震・火山・洪水などでは200年内外と 10^2 年を越えつつあり、防災における未来予測もより長期間のものが求められ始めている。

防災工学の空間的時間的尺度を以って実地の自然変動現象をみると、その変動過程に時間的な不連続性が認められ、この時間的不連続性が自然変動現象の最大の特性であり、また、このことが現象メカニズムに未だ未解明な部分を数多く残していることの最大理由として挙げられる。しかしながら、このような変動現象の特性に関する認識は防災工学的時間空間尺度で現象を捉えた場合であり、尺度を変えた異なった自然現象観に立脚した場合には、必ずしも同一のことが言えるものではない。したがって、とくに議論の焦点とされる「変動現象の予見」についても防災工学的自然現象観のもとでは到底予見は不可能という外はない。

さらに、防災行政の一環として実施されている防災工事は、実際の変動現象に関与する因子及びそれら因子のからみ合いに未だ未解明な部分を数多く残しているにも拘らず、必要上止むに止まれず経験工学的に実施しているものもある。

したがって、自然災害被災者らの時空間尺度を無視した自然変動現象の認識及びこれから派生した災害現象発生機構に関する主張は、防災工学的自然現象観を無視したものと言うべきで、

我々防災関係者にとっては非科学的で不合理なものとなっている。