

《第Ⅱ部》

リスクに関する問題

はじめに

一九九五年の兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）では未曾有の人的・物的被害が引き起こされた。マグニチュード（M）七・三の地震が都市（神戸市など）直下で発生したためである。関西圏ではこの地震の前の数十年間は大きな地震被害に見舞われなかったため、地震に対する意識や備えが十分ではなかったことも被害を大きくした一因であろう。この地震での被害は直接・間接被害全体で約二〇兆円と見積もられており、国家予算（一〇〇兆円程度）からみてもその大きさに驚かされる。

その後も図9-1に示すように、二〇〇三年十勝沖地震、二〇〇四年新潟県中越地震、二〇〇五年福岡県西方沖地震、二〇〇七年新潟県中越沖地震、二〇〇八年岩手・宮城内陸地震など多数の被害地震が発生しており、それぞれ発生した場所、規模、被害の特徴などから社会に大きな衝撃と不安を与えた。特に、二〇〇七年新潟県中越沖地震は震源域極近傍に立地していた東京電力株式会社の柏崎・刈羽原子力発電所を直撃し、敷地内で震度七が観測されるとともに、原子炉建屋の基礎版での観測地震動は、設計時に想定された地震動のレベルを最大で約二・五倍も上回った。その結果、火災や若干

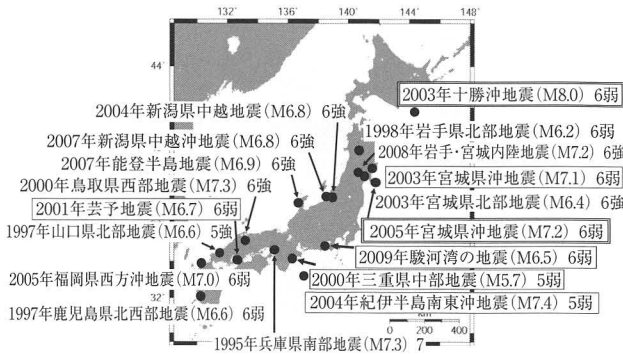


図9-1 兵庫県南部地震とその後の被害地震

の放射性物質の漏洩など、原子力発電所における初めての地震被害ということで国内のみならず世界中に大きな衝撃を与えた。その後慎重な調査、分析、補強工事などが実施され、二年以上経った現在、順次運転再開に向けた試験・検査が実施されている。このことは、低炭素社会の実現には必要不可欠な原子力を安定したエネルギー供給源としていくうえで、特に我が国においては地震に対する安全性確保の重要性が再確認される結果となった。

また、二〇〇三年十勝沖地震では震源から二〇〇キロメートル以上も離れた苫小牧で石油タンク火災が発生し、この原因が長周期地震動（周期の長い揺れ）であることが指摘された。東京、大阪、名古屋など大都市が立地する大型堆積盆地では東海地震や南海・東南海地震などの巨大地震時には同様な長周期地震動に襲われる可能性が非常に高く、高度化する都市における被害軽減化対策が急がれている。その対策の一つが将来発生する可能性のある地震時の地面の揺れ（地震動）を前もって予測しておくこと（地震動予測）である。

一九九五年兵庫県南部地震以後、地震観測網の充実によって震源近傍域も含めた数多くの記録が得られるようになり、地震や地震動に関する理解がより深まり、急速に地震動予測の研究が進展した結果、現在構造物の耐震設計や被害予測などへの実

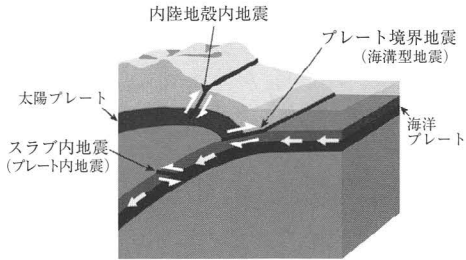


図9-2 地震発生のタイプ

用化も進んでいる。地震がいつ、どこで起こるのかを予知することが困難な現状においては、想定される地震に対して、そのときの地震動の特徴（揺れの強さや揺れ方など）を知り、地震に備えることが被害軽減にとって大きな役割を果たすものであり、本章では地震動予測の現状を紹介する。

地震動予測研究・技術の概要

構造物の耐震設計に供される地震動の予測に用いられた従来の方法としては、過去の地震記録をそのまま、あるいはなんらかの加工（振幅調整など）をして利用する方法や、過去の地震記録を統計的に処理し、経験的なスペクトルモデル（周期ごとに地震動強さを表現したもの）を設定して利用する方法が代表的なものであった。これらの手法によって評価される地震動は全国一律に適用されており、対象とする地震の震源像や地域ごとに異なる震源像や地域ごとに異なる地盤特性に対して特に配慮されていない。地震動とは地球内部の地殻に蓄えられたひずみエネルギーが急激なくい違い運動（地震）によって放出され、地震波として伝播してきた地面の揺れである。図9-2には発生場所によって異なる三種の地震を示す。日本列島ではこの図に示すような内陸地殻内地震、プレート境界地震およびスラブ内地震（プレート内地震）の三つのタイプの地震がある。地震動を予測するためには、くい違い運動に関する情報（震源特性）、震源からあるサイトの基盤（共通な揺れが期待できる）までの地震波の伝播に関する情報（伝播経路特性）、基盤から地表までの地震

波の伝播に関する情報（サイト特性）が必要である。同じ規模の地震であっても地震の発生場所、発生メカニズムが異なれば違った地震動になり、またそれらと同じでも地震波の伝播経路やサイト特性が異なれば違った地震動になる。このような現象は一九九五年兵庫県南部地震以後、数多くの観測記録の分析や地震学・地震工学的なアプローチによって解明され、その結果それぞれの特性が分離評価できるようになった。特に重要な知見としては、地震を起こす震源断層面上での不均質な破壊が、特に震源近傍域における非常に強い地震動（強震動）の生成に大きく関与することや、破壊の伝播による効果（指向性効果）が非常に重要なことである。また、震源での破壊過程に加え、浅部のみでなく、深部の地盤構造が地震波の伝播特性に大きく影響する。こうした知見によって、あるサイトで想定すべき地震に対して地震動を予測する方法論が確立され、シナリオ型の地震動予測として実用化の域に達している。適用例としては、文部科学省の地震調査研究推進本部（以下、地震本部という）による「全国を概観した地震動予測地図」があり、このなかには地震発生確率が比較的高い活断層や海溝型巨大地震を対象としたシナリオ型の地震動予測結果が公表されている。また中央防災会議でも東海地震、東南海・南海地震や首都圏直下地震などに対する専門調査会において、シナリオ型の地震動予測に基づく被害予測結果などが公表されている。こうした取組みは政府機関だけではなく、地方自治体における地域防災計画の作成にも大きな役割を果たしている。

地震動予測のためのレシピ

入倉（二〇〇四）は、シナリオ地震を対象とした地震動予測の流れを地震動予測レシピ（以下、レシピという）として提案し、震源のモデル化、地下構造のモデル化、地震動の評価、予測結果の検証

までを含み、誰もが同じ答えが得られることをめざしたものである。その後、地震本部でも「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」としてまとめている。レシピによって多種多様な構造物の被害に関係する周期 $0.1 \sim 1.0$ 秒の広い周期帯域における高精度な地震動の予測が可能となる。以下にレシピの概要を紹介するが、震源のモデル化における各種パラメータ評価において用いられる経験的あるいは理論的關係式は地震本部のレシピに譲る。

■震源のモデル化

地震動を予測するための最重要課題の一つが震源となる断層運動の特性化である。この特性化を可能にしたのは強震動記録を用いた断層破壊過程推定のための波形インバージョン（以下、震源インバージョンという）から明らかにされた震源モデルである。震源インバージョンでは、種々の観測記録（地震動や地殻変動など）を逆解析して震源断層面上でのすべり分布などが求められる。図9-3にはその一例として二〇〇〇年鳥取県西部地震（マグニチュード7.3）の震源断層面上のすべり分布を示す。このような解析が多数の地震に対して実施された結果、地震動の評価には震源断層の面積や地震モーメント（地震の規模を表す）などの巨視的断層パラメータだけでなく、震源断層面内における不均質なすべり分布などの微視的断層パラメータや破壊伝播様式などが重要な要素であることが分かってきた。Somerville *et al.* (1999) は、震源断層全体の面積と地震規模（地震モーメント）との関係や、図9-3に示した断層面上でのすべり量の相対的に大きいところをアスペリティとよび、その面積と地震規模との関係、アスペリティと震源断層の面積比などを調べ、経験的な関係式（スケールング則）を提案した。その後国内外で発生した地震によってもそれらの関係式が成り立つことが示されている。活断層による地殻内地震の場合には、まず巨視的パラメータは活断層調査などによる断層

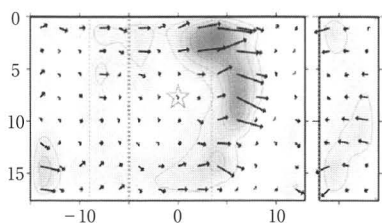


図 9-3 2000年鳥取県西部地震の関口・岩田(2001)による震源インバージョンによるすべり分布(☆:震源)

の長ささと地震発生層の厚さから全破壊域が決まり、経験式によって全地震モーメントが評価される。一方、プレート境界地震の場合には震源域の特定は可能であつても全破壊域を推定することは困難で、現状では地震規模(マグニチュードや地震モーメント)から全破壊域の面積を評価する方法がとられる場合が多い。一方、微視的パラメータであるアスペリテイの面積は震源断層との面積比(経験的には約二二%)から求められ、そのアスペリテイからの程度強い地震動が生成されるかを決める重要なパラメータである応力降下量は加速度震源スペクトルにおける短周期レベルの規模依存性や動力学的モデルから評価される。これらの微視的パラメータはプレート境界地震やスラブ内地震では異なったスケールリング則によつて評価される。これらの微視的パラメータはプレート境界地震やスラブ内地震では異なつたスケールリング則によつて評価される。なお、アスペリテイの位置や個数については活断層情報から推定できる可能性もあるが、現時点ではそのような情報が得られる活断層は少なく、サイトへの影響や経験値を考慮して設定せざるを得ない。その他のパラメータとしては破壊開始点、破壊伝播様式、破壊速度などがある。破壊開始点については活断層の形態から設定可能であるとの研究成果もある。

■ 地下構造のモデル化

震源で生成された地震波が性質の異なる地層を透過・反射する際に、増幅や干渉が生じる。その結果、震源から伝わってきた地震波に含まれる周波数成分が変化して複雑な波形となる。できるだけ正確な地震動予測を行うには、地層の地震動にかかわる性質を表す弾性波速度(P波は V_p 、S波は V_s いう)の構造を知ることが不可欠である。特に、弾性波速度の違い(速度コントラストという)が大きな地層境

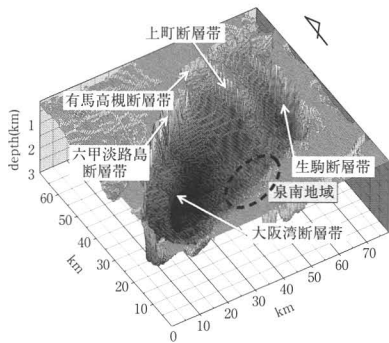


図9-4 大阪堆積盆地の基盤面形状モデルの鳥瞰図

界面のモデル化がより重要となる。大阪平野や京都盆地の中心部では、一般に巨岩盤類からなる基盤層 ($V_p = 6 \text{ km/s}$ (キロメートル毎秒)、 $V_s = 3 \text{ km/s}$ (程度)) が地下数百から数千メートルに深に存在し、その上を堆積層 (おおよそ、 $V_p = 2.5 \text{ km/s}$ 、 $V_s = 1 \text{ km/s}$ 以下) が覆っている。この基盤層と堆積層の境界面形状 (基盤面構造という) の探查精度が地下構造 (ここでは速度構造という) のモデル化にとって重要となる。ここでは、基盤面構造の探查手法を紹介する。

ボーリング探查と反射法地震探查 速度構造の探查手法は種々存在する。なじみ深いボーリング探查では円筒状の地層サンプルコアを採取し、土質性状を調べられるほか、ボーリング孔に挿入した発振器と受振器のデータから各地層の弾性波速度が直接的に調べることができる。ボーリング探查は点情報であり、一般的に、図9-4にみられるような複雑な形状をした基盤面構造を知るためには、基盤面に届く数多くのボーリング探查箇所が必要となり、多大なコストを要する。それゆえに、ボーリング情報のみから基盤面構造を推定するよりむしろ、後述する他の探查手法との併合による基盤面構造の推定に用いられる機会が多い。

阪神淡路大震災以降、地震本部と連携した主要な自治体を実施した地下構造調査では、ボーリング探查といった直接的な方法より、むしろ反射法地震探查や微動探查といった間接的な方法が採用された。反射法地震探查では図9-5のように起震車から放射された高周波 (100~1000ヘルツ (Hz))

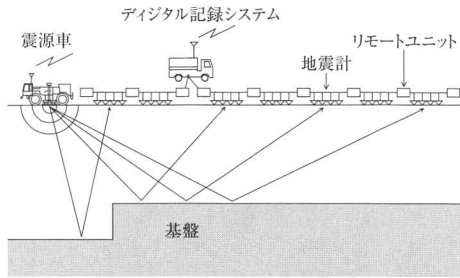


図9-5 反射法地震探査システムの原理

の弾性波が基盤面で反射し、その信号の地表面での到達時間差を直線状に配置した受振器でとらえ、信号処理を行うことで、基盤面深度の分布を二次元（断面）として、推定することができる。元来、この方法は石油層などの資源探査のために開発されたものであり、医療におけるエコー検査と原理的には同様である。ところが、数百点を超える受信器の展開や起震車の運用など大がかりな設備と多大な労力を費やす。そのため、三次元的に基盤面構造を調べるには長大な測線長が必要となり、これまではコストや機能の面から、伏在断層周辺部や平野を縦断する基幹軸上など、二次元基盤面構造モデル作成における骨格的な情報を与えるために利用されている。

微動探査

一方、交通や波浪などを震源とする微動（一〇マイクロメートル（ μm ）以下の振幅）は、いつでもどこでも存在し、程度のよい地震計さえ設置すれば容易にはかることができる。微動に含まれる成分の多くは地表面に沿って震動エネルギーが伝わる表面波であると考えられている。表面波には水平動として伝わるラブ波と上下動を伴うレイリー波が存在する。このうち、微動探査では主として、レイリー波を識別して利用する。層構造を伝わるレイリー波の特徴として、その位相速度（波頭が地表面に沿って伝わる速さ）および、水平動と上下動の振幅比が周波数（あるいは波長）により変化する。この変化において、前者を分散曲線、後者を H/V スペクトルという。これらの変化の特徴が震動源によらずに、波が伝播する速度構造のみに依存すると考えられている。観測記録から、これらの物理量を分析

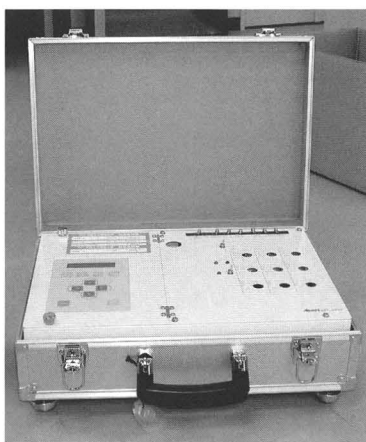


図9-6 ポータブル振動計測器
筐体に3成分地震計、記録装置、増幅装置、GPS時計が納められている

動性がよいこともあり移動観測が容易に行えるので、比較的短期間に多くの位置で計測が可能となっている。

微動H/Vスペクトルを用いた基盤面構造の推定事例

ここで改めて、図9-4に示した大阪堆積盆地の地下構造について説明しておく。大阪堆積盆地は大阪平野とその西側の大阪湾から形成され、北側を北摂山地、東側を生駒山地、南側を和泉山脈、西側を津名山地で囲まれた盆地状の地帯である。これら山地は領家花崗岩類などからなる基盤岩が表層に分布する。基盤面は大阪平野において六〇〇〜一五〇〇メートルの深さに分布し、最深部は大阪湾西部域において深度二五〇〇メートルを超える。これら基盤面の大局的な形状は盆地周縁や中央部に存在する断層変位の長年の蓄積によって形成されている。一方、堆積層を構成する大阪層群は未固結の砂礫、砂、シルト、粘土などの互層から

し、最もよくこれらの特徴を近似する速度構造を観測点ごとに推定する。これを微動探査法という。微動観測記録から分散曲線をできるだけ正確に求めるには、ある距離隔てた複数の地点（通常七地点）に地震計を設置し、すべての観測点で同期をとって計測する必要がある、それなりの人手と準備を要する。一方、近年注目を浴びているH/Vスペクトルは一地点の記録情報から、より簡単な分析方法によって求めることができる。さらに、図9-6にみられるように、最近の観測装置は小型軽量化され、機

なり、Ma 1 ~ Ma 10 のように番号が付けられ細分化されている。

H/V スペクトルを用いて、大阪平野南部に広がる泉南地域の基盤面構造を推定した事例を図9-7に示す。地図上の●と○は観測点の位置を示しており、全部で一〇〇点存在する。ここでは、臨海部のTJRと丘陵部のKRJと称する地点のH/Vスペクトルを左側に示している。黒線は観測によるもの、灰色の線はそれに

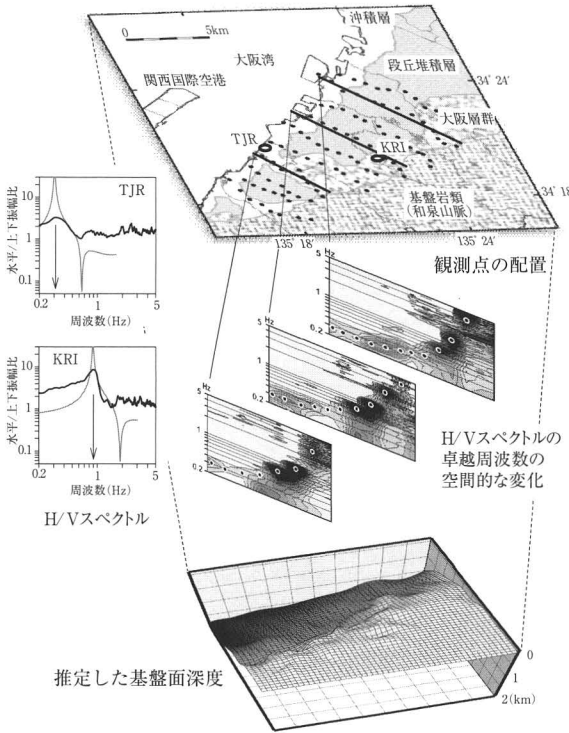


図9-7 微動H/Vスペクトルの卓越周波数の空間変動と推定基盤面形状

フィットリングするように求めた速度構造モデルから理論的に計算したものを示す。両図ともにピークが明瞭に識別できるが、そのときの周波数(卓越周波数という)は異なっている。この差が基盤面深度と関係づけられることが明らかにされており、ここでも、図の中央に描かれた三つの等高線図上にプロットした●印(卓越周波数の位置を示す)の位置による変化か

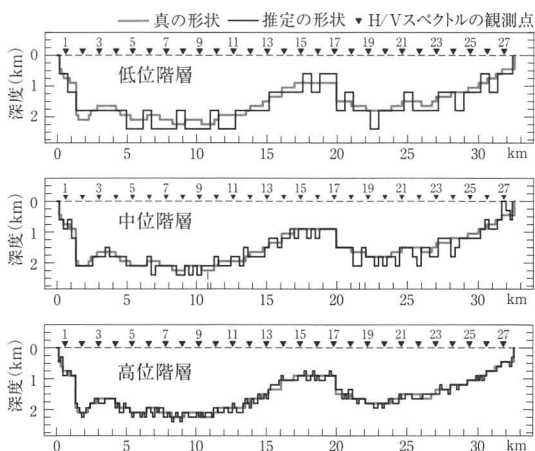


図9-8 微動H/Vスペクトルの逆解析から求めた基盤面形状階層が高くなるにつれて真の形状に近づく

観測点ごとに平行成層モデルを仮定して求めた基盤面深度をつなげることで、強震動予測にある程度、必要な精度の速度構造が得られる。しかしながら、図9-4に示す大阪平野南部以外の盆地周縁部のような断層帯近傍においては、平行成層モデルが成り立たないことが予想される。

最近になって、平行成層モデルの仮定を置かない、より現実的な不規則な地層境界面を含む速度構造モデルを有限要素法や差分法といった、曲がった地層による波の干渉が扱える数値解法を用いて、

ら、そのことが分かる。すなわち、これらの等高線は、地図上の三つの測線上に最寄りの観測点のH/Vスペクトルの値を色の濃淡で示したものであり、基盤面が浅くなる山地に近づくほど、卓越周波数が高くなっている。すべての地点の卓越周波数から求められた基盤面深度を空間的に補間することで、下に示した推定基盤面深度の図が得られる。

今後の発展が期待される探査法

ここで紹介し

た微動探査法はいずれも、レイリー波（ラブ波を利用する場合もある）の特徴を利用して、速度構造を推定するものであるが、理論的背景として基盤面を含めた地層が平坦かつ地表に平行な（平行成層という）モデルに基本的に限定される。ただし、図9-7のような地層が緩やかに傾斜している場合には、

基盤面構造を推定する試みがなされている。例として、図9-18に数値実験に基づいて、仮想の二次元の不規則基盤面構造を推定した結果を示す。これは地表のH/Vスペクトルを観測記録として考え、さまざまに変化する基盤面形状に対する波動場を有限要素法により計算し、それによるH/Vスペクトルが最も観測と一致するような基盤面構造を求めたものである。この操作をアルゴリズム化し、計算機内で最適な解を求める、逆解析とよばれる手法を用いている。ここでは、最適解への収束を早める工夫として、最初に粗く基盤面深さを求めておき、徐々に分解能を高めてターゲットとなる真の基盤面深さとの残差を小さくする階層化という手法を取り入れている。このような方法は今後、三次元の不規則な基盤面構造モデルに拡張することにより近い将来は、一次元構造の継ぎはぎではない、より精度のよい三次元基盤面構造が推定できるものと思われる。

■ 地震動評価手法

地震動が震源とサイトを固定して設定されたとした基本的考えを満たすために、ここでは想定すべき特定の地震（シナリオ地震）を考え、震源からサイトまでの伝播経路での地震動の諸特性を考慮した時刻歴波形が予測できる手法である①理論的手法、②半経験的手法、③ハイブリッド法の三つの方法について簡単に紹介する。これらの方法は断層モデルとグリーン関数（震源から放射された地震波の伝達関数）を使って地震動の時刻歴波形を評価するもので、①は理論的にグリーン関数を計算し、②は観測記録や統計的に作成した人工地震波がグリーン関数として使われ、③は①と②を組み合わせた高精度な広帯域地震動予測手法である。

理論的方法は、前述した断層運動に基づく震源モデルや地震波が伝播する地下構造（深部、浅部）に関するモデルを作成し、地震波の発生や伝播の理論に基づいて決定論的に地震動の時刻歴を計算す

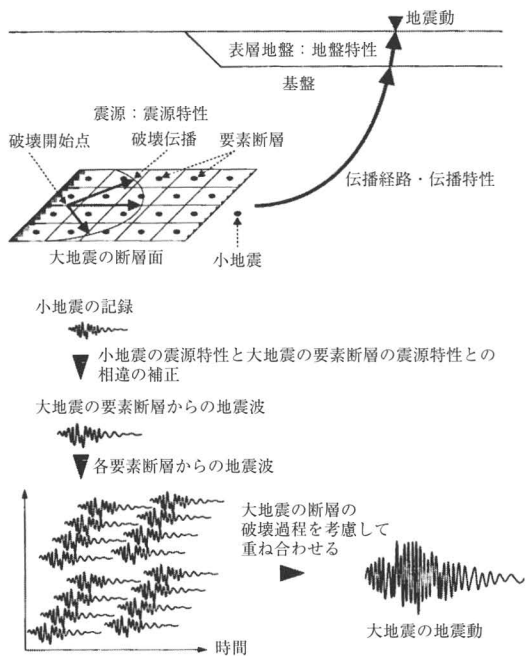


図9-9 統計的・経験的な地震動予測手法の模式図

半経験的手法として、経験的グリーン関数法や統計的グリーン関数法が提案されている。これらの方法の模式図を図9-9に示す。グリーン関数として観測記録を利用する経験的グリーン関数法では、適切な中・小地震記録が必要であり、過去にはそのことが逆にこの方法の欠点ともなっていた。しかし兵庫県南部地震を契機として多くの機関によって全国的に強震観測網が展開されるようになったこと、また得られたデータがインターネットなどを通じて公開されるようになったことから、この課題も解決

るものである。複雑な地下構造の場合には二次元、三次元地下構造モデルを用いた数値的方法である差分法や有限要素法などがよく用いられる。後述する半経験的な方法と比較し、想定する震源断層や地下構造のモデル化の精度が計算結果に大きな影響を与えることや、計算機の発達した現在においても計算に長時間を要する。また、短周期地震動も含んだ広帯域地震動の計算は困難で、現状ではやや長周期地震動を対象とした予測によく用いられる。

広帯域な地震動評価に適用可能な

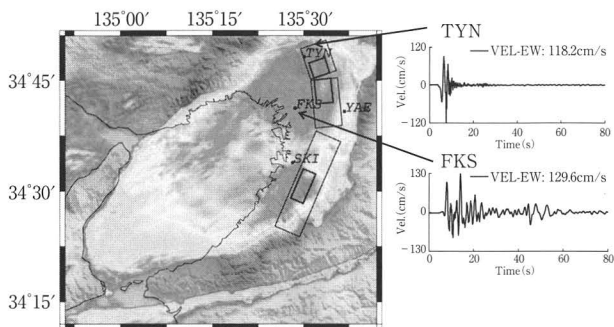


図9-10 ハイブリッド法による上町断層帯による予測地震動と最大速度分布

されつつある。この方法の利点は、観測記録を経験的グリーン関数として用いるため、地震波の伝播特性やサイト近傍での表層の地盤特性が記録にすでに含まれていることである。一方、対象とするサイトで適切な観測記録が存在しない場合においては、震源の地震学的なスペクトル特性を考慮した統計的なグリーン関数を利用する統計的グリーン関数法がある。

この手法では被害予測などで必要な広域での地震動強さの分布なども容易に安定的に評価できるため、適用範囲は広い。ただし、対象が実体波のみである場合が多く、表面波や堆積盆地などで二次的に生成される表面波などは表現できないのが欠点である。

最後に、より精度向上を目指した広帯域強震動予測手法としてハイブリッドグリーン関数法やハイブリッド法が提案され、後者については現時点における最も汎用性が高く、高精度強震動予測手法として地震本部で進められているシナリオ型強震動予測に用いられている方法でもある。この方法では、長周期地震動が理論的手法によって評価され、短周期地震動が統計的グリーン関数法や経験的グリーン関数法によって評価され、ある接続周期におけるマッチングフィルターの後、時間領域で足し合わされ、最終的に広帯域地震動が予測できる。

地震動予測例

地震本部では、主な活断層とプレート境界地震（海溝型地震）を対象にした、地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率などを長期評価結果として発表している。ここでは今後三〇年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層のなかでは高いグループに属するとされる上町断層帯を例とし、図9-4に示した大阪堆積盆地モデルとハイブリッド法を用いて行った地震動の予測結果を紹介する。図9-10のマッピングは想定された断層モデル（マップ上の大阪平野を南北に縦断する三つの細枠が断層の広がりを示し、太枠がアスペリイに相当する）に対する最大速度分布（各地点の速度応答波形の絶対値最大振幅を等値色で表したものを示している。最大速度は建物の損壊レベルと相関がある指標といわれている。最大速度は、アスペリイ近傍と上町断層を挟んで堆積層が厚い西側の領域で大きくなっている。

一方、図9-10には基盤面深度が異なる、千里丘陵上の豊中（TYN、基盤面深度〇・六キロメートル程度）と、福島（FKS、同一・五キロメートル程度）の速度応答波形も示してある。TYNでは短周期が卓越した継続時間が短い波形となっているが、FKSでは長周期を多く含む継続時間が長い波形となっているのが分かる。これらの結果から、地震動予測にはアスペリイ位置やサイズなどの震源のモデル化と不規則な形状をした基盤面深度分布のモデル化の相互の精度向上が欠かせないことが理解できる。

おわりに

本章では地震災害軽減を目的とした将来の地震時における地震動（揺れ）の予測研究・技術や適用

例を紹介した。現在、予測結果は構造物の耐震設計やすでに建設されている構造物の被害予測やその結果に基づく耐震補強など、国民の生命・財産を地震から守るための備えとして活用されている。被害地震が多発し、日本列島全体が地震活動期に入ったともいわれる現在、関西圏に目を向ければ、南海・東南海地震という巨大地震に直面し、その被害軽減化対策が急がれている。最近の地震被害をみれば、高度化した社会においては、その規模も大きく、また多様化もしている。ここで紹介した地震動の予測研究・技術が地震災害軽減にどの程度役立つのか、地震発生が切迫している現在、その答えが出る日もそう遠くない。

〔釜江克宏・上林宏敏〕

リスク社会と科学技術

「現代は、科学技術の時代である」といわれる。すでに昭和四二年度版の科学技術白書には、このフレーズが登場している。そこでは「今後我が国の繁栄を期するには、科学技術の一層の発展を図ることが不可欠」とされている。それから半世紀以上、まさに現代社会は科学技術の恩恵を受け発展してきた。しかし一方では今日ほど科学技術への不信が顕在化している時代もないだろう。たとえば平成一二年度版の科学技術白書では、生命科学や原子力に対する国民の不信感が指摘され、「社会の不信感を取り除く努力」が必要であることが述べられている。本章では、「リスク社会」をキーワードに、科学技術と現代社会の関係について解説する。

リスク社会

まずはよくある誤解を払拭しておこう。リスク社会とは、「危険に満ちあふれている社会」のことではない。そもそもある意味では、我々の社会生活は、昔のほうがよほど危険に満ちあふれていたといえる。かつて我々の社会生活を脅かしていた危険のなかには、科学技術の発展のお陰で解決・解消

されたものも多い。昔の不治の病のなかには、医療の進歩の結果、現在では治癒可能になっているものも少なくない。ダムや河川改修によって、洪水や氾濫の被害もかなりの程度人為的に抑えられるようになってきている。このような例は枚挙にいとまがない。

リスク社会とは、人間の社会的な営み、とりわけ科学技術によって不可避的にもたらされる深刻なリスクに直面せざるをえない社会のことである（ベック、一九八八）。ここで想定されている典型的なリスクは、環境問題、原子力発電所の事故リスク、遺伝子工学技術の予期しえない帰結などである。その特徴は、第一に、それが科学技術によってもたらされていること、より正確にいえば、科学技術の成功に伴って出現している点である。それだけではない。リスクを正確に認識するにも、リスクへの対策を講じるにも、我々は科学技術に依拠せざるをえない。たとえば、ダイオキシンや放射能汚染は日常的な知覚によって把握することができない。あるいは、いま手にしている食品に遺伝子組み換え作物が使われているかどうか、五官を頼りに判断するなど不可能である。特徴の第二は、リスクが生起する確率は極めて小さいかもしれないが、いったん生じてしまうと、しばしば補償不能・回復不能なほどの深刻な帰結をもたらすことである。たとえば、原子力発電所で事故が生じる確率はゼロに近いかもしれないが（そしてしばしばそのように主張されるが）、万が一にも事故が生じてしまうと、その犠牲や損害は個人や企業の補償可能な範囲をはるかに超えた甚大なものになりかねない。

リスク社会の特徴は、科学技術の発展が社会に対して功罪両面をもつということにとどまらない。事態はより複雑である。そこでリスク社会についてより正確に理解するために、社会学者のルーマン（小松、二〇〇三）に依拠しつつ、リスクとは何かをさらに考えてみよう。そのためにはリスクが何

ものではないのかを考えてみるとよい。リスクの対義語はなんだろうか。典型的な回答は、おそらく、「安全」だろう。実際、政府のリスク緩和政策や企業のリスクマネジメント方策においては、しばしばリスクと安全が並べられ、リスクをなくすことがすなわち安全を実現することだとされている。

しかしルーマンによれば、現代社会において、リスクの対義語としてより重要なのは「危険」である。リスクと危険は、日常的にはほぼ同じ意味をもつ言葉であるが、両者の区別を押さえることが、リスク社会を理解するうえで重要である。あらかじめポイントを挙げておくならば、リスクと危険を区別するキーワードは「選択（決定）」と「帰属」である。

第一に、リスクは、主体による能動的な「選択」（意思決定）の結果として生じる点で、単に避けべき脅威としての危険とは区別される。多くの論者が指摘するように（たとえば、平川、二〇〇三）、歴史的にみると、（危険ではなく）リスクのルーツの一つは、ヨーロッパにおける中世から近代にかけての海上貿易の発展に求められる。商人たちは、はるか遠方の国へと航海するわけだが、その途中嵐に巻き込まれて遭難したり、海賊に襲われて命を奪われる可能性がある。しかし同時に、交易を成功させて母国に帰ることができれば、巨万の富を築くことができる。このような状況で、危害を被る可能性を引き受けつつ、あえて積極的に航海する「選択」をすることが、「リスクを冒す」経験にほかならない。このように、リスクには主体の側の能動的・積極的な態度がこめられている点が、危険と区別される点の一つである。

このことに関連してリスクのもつ時間性について述べておこう。リスクを伴う選択は、未来の本源的な不確実性を前提にしている。選択がなされる現在においていかに周到に備えようとも、未来に生

じるかもしれない脅威を完全に予測し制御することは決してできない。未来はその本性上、現在における期待を裏切る可能性を常にもっている（そもそも未来に不確実性がなければ、言い換えれば未来が完全に予測・制御可能であれば、リスクそのものが没概念化する）。だからリスクを冒すという選択は、未来の不確実性を前提としつつ、それを現在の側から最大限予測し制御しようとすることを含意している。未来に生じうる脅威（とその発生確率）を定量化し制御しようという動機と、それが可能であるという確信が、現代の科学的リスク評価・管理の原動力になっていることは明らかだろう（科学的リスク評価の問題については「科学的リスク認識とその問題点」で述べる）。

第二に、リスクは、それが生じた場合の原因や責任が個人や集団（の選択）に「帰属」される点で、脅威の由来が自然現象や運命など超人間的なものに求められる危険とは区別される。リスクは、主体による自由な決定（選択）に伴うものであるから、不幸にして脅威が生じてしまった場合には、その選択をした個人や集団の責任が問われることになる。

リスクを危険との区別においてこのようにとらえると、リスク社会と科学技術との関係をより明確に理解することができる。科学技術の発展のお陰で、個人や集団による選択の幅は飛躍的に広がった。そのため、かつては危険と見なされていた脅威が、選択の結果としてのリスクと見なされ、その原因や責任が当の選択（をなした個人や集団）に帰属されるケースも拡大している。分かりやすい例は、地震などの自然災害だろう（矢守ほか、二〇〇五）。地震は、かつては人間にはどうすることもできない天災（危険）であった。実際、地震はプレート運動という全く人為的ではない原因によって生じる。しかしプレート運動の観測技術が発展すると、地震学者たちは正確な地震予知（という選択）を求められるようになる。地震被害の定量的・確率的な予測が可能になると、人々は、地震の起

こりやすい（地盤の弱い）地域に住み続けるかどうかの選択を迫られるようになる。耐震建築技術が発達すると、住宅や都市の耐震性の改善に投資をすることが選択の対象として浮上する。そして被害が生じれば、個人の自己責任や行政責任が問われることになる。地震学者たちは正確な予知がでなかつたことを責められ、人々は危険な地域に住み続けていたことを責められ、行政は都市耐震政策の不備を責められる。

以下、リスクのもつ社会性について、小松（二〇〇三）に依拠しつつ、補足的に説明しておこう。第一に、リスクと危険の区別は、単に能動的な選択の結果か、受動的に巻き込まれてしまった結果か、ということではない。重要なことは、社会的な帰属の仕方の違いである。たとえば大事なビジネスで外国を訪れたところ、たまたま（事前には全く知らなかつた）エマージェントウイルスによる感染症が大流行しており、感染してしまったとする。この場合、旅行は本人の能動的な選択によるものだが、感染は不運に見舞われた（危険）として帰属することが可能である。しかし本人が災難（危険）に遭つたつもりであっても、周囲の人々から「エマージェントウイルス情報を事前に確認していかなかつたのは、あなたが悪い」と指摘され、同じ出来事がリスクとして再構成されることもあるだろう。このように、リスクと危険の区別は、社会的な帰属の仕方の違いであり、コミュニケーションの過程で変化を被る可能性をもつ。

第二に、この例からも分かるように、「何もしない」ことも、一つの「選択」として責任が「帰属」される。上記の地震の例でも、行政が防災について全く無為無策であつたら、積極的に策を講じて問題が生じた場合よりも、はるかに責任が問われるかもしれない。リスクは主体による選択の所産と述べてきたが、このことは「選択をしなければリスクもない」ことを意味しない。選択をしな

とも一つの選択なのである。

第三に、リスクと危険の区別は、利益を求めてリスクを伴う選択をする者と、その選択による脅威（の可能性）のみを被る者という社会的区別を生み出す。この場合、同じ現象が、前者にとつてはリスクであり、後者にとつては危険と見なされることになる。また、その脅威の程度や確率についての認知や、それに対する許容度の食い違いも生じやすくなる。社会的問題となるようなリスク論争では、対立の背景にこうした食い違いが存在することが多い。わかりやすい例としては、原子力発電所の建設が挙げられる。電力会社や政府にとつては、それは電力を安定供給するという利益を求めてなされる選択だが、その選択に参加していない人々、特に現地の反対派の住民にとつては、同じ原子力発電所の（潜在的）脅威が危険として現れる。原子力発電所の建設や運転を巡って対立が生じているような場合、両者の間で、そもそも脅威に対する認識が異なっていることも多い（このギャップを埋めるために、リスクコミュニケーションが行われることも多いが、そこにも問題がある。これについては次でふれる）。

以上を踏まえて、あらためてリスク社会を定義しておこう。リスク社会とは、未来の脅威の可能性を、人々の自由な選択（意思決定）に伴うリスクとしてとらえ、その責任の帰属先を拡大し複雑化していく社会である。

科学的リスク認識とその問題点

前でも述べたように、リスクを認識し、その解決を図るうえで、科学技術は決定的な役割を担っている。ここでは、来るべき脅威の性質とその生起確率を客観的かつ定量的に評価し、系統的に制御し

ようにする態度を、科学的リスク認識とよぼう。リスクを「被害の重大性（ハザード）×その生起確率」と定義し、それに基づいてリスク評価やリスク管理を行うことは（National Research Council, 1989）、科学的リスク認識の典型的な現れである。いうまでもなく、科学的リスク認識は、科学技術のもつ功罪両面のうち罪の側面を解消・低減し功の側面を強化するのに重要な役割を果たしている。しかし、述べてきたようなリスク社会の特徴を考慮に入れると、科学的リスク認識には看過できない問題もある。平川（二〇〇三）は、科学的リスク認識がもつ傾向と、それがもたらす問題点を四点にわたって指摘している。

第一は、リスク評価の客観性や価値中立性が過剰に重視され強調される傾向である。その結果、リスク評価は専ら専門家によって行われるようになり、その評価こそが客観的で正しいリスク評価だとされる。実際、近年我が国においても原子力発電など科学技術政策に関するリスクコミュニケーションがしばしば実施されるようになってきているが、その大半は、専門家が客観的なリスク評価を無知な一般市民に教える（そしてそのことによって一般市民の過剰な不安を払拭する）、という構図を自明の前提にしている。さらには科学的リスク評価の客観性を根拠に、リスク（を伴う先端科学技術）そのものの受容（パブリック・アクセプタンス）を迫るリスクコミュニケーションも多い。

しかし、いかに客観的で価値中立的にみえようと、科学的リスク評価は、問題自体をどのような前提に基づいてとらえるかという「フレーミング前提」に依拠している。フレーミング前提とは、①重要な社会的価値（リスク、自然、自由など）に対する価値態度、②行為や責任（個人や組織の自律性、責任など）についての信念、③競合するさまざまな知識主張の信頼性や重要性に関する判断、④物事の因果関係や関連性・重要性に関する特定の理論やモデルなど、である。これらをもとにさまざま

まな物理的・社会的プロセスから特定の現象や側面を注目すべきものとして選り出し、知識を組織化することがフレーミングである。具体的には、科学的リスク評価には、何を対処すべき重大なリスクと認定するか、そのリスクを社会が受容すべきかどうかを決める基準には何を選ぶか、何を重要な証拠とするか、どのような測定方法を採用するか、不確実性をどの程度重大視するか（あるいは無視するか）、どのようなリスク管理対策とその帰結を検討対象とするか、などといった社会的な価値判断や優先づけが深くかかわっている。客観性や価値中立性の過剰な強調は、「科学的結論」という錦の御旗のもと、科学的リスク評価が暗黙のうちに依拠しているこのようなフレーミング前提の吟味を棚上げしてしまう。

第二は、テクノロジの問題を、その「バックエンド」であるリスクのみに切り詰め、イノベーション過程の「フロントエンド」の問題を無批判に看過してしまう傾向である。ここでフロントエンドの問題とは、たとえば、技術開発のそもそもの目的にはどの程度妥当性や必要性があるのか、誰にとつてどのような利益が見込まれるのか、といった問題である。こうした問題は本来重要であるにもかかわらず、科学的リスク認識がもつこの傾向の結果、そのテクノロジの開発・利用の推進が自明の前提とされたまま、リスクをどう管理するか、リスクをどのように受容するか（してもらうか）ばかりが検討されることになる。

第三は、科学がリスクを評価し制御する能力を過剰に信頼する傾向である。その結果、科学的に定義され、取り扱うことのできるリスクのみが評価や管理の対象とされる。と同時に、リスクが本来的にはらむ未来の不確実性の問題、すなわち、漠然とした不安、予見不能な脅威、何が知られていないのかも知られていないという「知られざる無知 (unknown unknowns)」などは、過小評価されるか、

端的に無視される。この傾向は、それどころか「リスクはチャンス」といった楽観的自信を強化する効果をももつ。

第四は、第三の問題に関連して、リスクを脱人格化⇨自然化し、無責任化してしまふ傾向である。その結果、リスクと危険の区別が無化され、リスクの原因や責任の帰属という社会的・倫理的問題が置き去りにされてしまふ。

以上述べてきた科学的リスク認識の問題は、専門家と一般市民のリスクのとらえ方の違いに分かりやすい形で現れる。具体例を挙げよう。一九九八年から二年間、ヨーロッパの五か国で実施された調査「欧州における農業バイオテクノロジーに関する一般市民の認知(PABE)」において、フォーカスグループインタビューの対象となった人々が特に重要視していた問題は、次のようなものであった(Marris, et al., 2001)。すなわち、「なぜ遺伝子組み換え作物が必要なのか」、「遺伝子組み換え作物の開発・利用から、誰がどのような利益を得るのか」、「解消できない不確実性や未知の事柄は、意思決定のなかでどのように考慮されているのか」、「予見されなかった被害が生じたときには誰が責任を負うのか、どうやって責任をとるのか」などである。このような問題提起に対して、科学的リスク認識に依拠する専門家はどのように答えるだろうか。典型的な反応は、「未知のリスクをおそれる態度は、ありもしないゼロリスクを求める不合理な態度である」、「リスクの削減は便益とのバランスで考えなければならず、多少のリスクは許容しなければならない」などであろう。しかし科学的リスク認識に基づくこのような回答が誤りであることは、少なくともPABEの調査対象者たちにとっては明らかだろう。彼らが求めているのは、ゼロリスクではない。ゼロリスクなどあり得ないことを十分理解しているからこそ、専門家や行政や企業が果たすべき責任を十分に果たすことを求めているのであ

る。彼らはまた、科学的に定義されたリスクと利益のバランスなど求めていない。彼らが求めているのは、未知のリスクを含む不確実性と、科学技術の必要性や正当性とのバランスである（平川、二〇〇三）。一般市民の専門家や科学に対する不信の背後には、このようなリスク認識の齟齬そごがあることを理解する必要がある。

科学技術へのこうした問題関心は、科学技術をめぐる意思決定へ参加したいという動機とも深く結びついている。科学技術には未知のリスクが伴うのであれば、自ら科学技術の目的や必然性、リスクや利益を吟味し、その開発や利用を進めるか否かの決定に関与したいという欲求は極めて自然なものである。「科学技術と市民参加」では、科学技術への市民参加の動向について述べる。

リスク社会の不安

科学技術は、社会に利益とリスクをもたらすだけでなく、個人や集団の自由（選択）と責任の範囲を拡大するという形で、社会と密接に結びついている。科学技術はリスクを評価し管理するのに不可欠だが、科学的リスク認識に対する不満や不信も無視できない声となっている。ここでは、科学技術と社会のこうした関係を、より一般的な理論的文脈に位置づけ、リスク社会の性質を改めて考えてみよう。具体的には、リスク社会が「不安」を基調とする社会であることを述べていく。以下、大澤真幸の社会学的規範理論（大澤、一九九二・二〇〇八、わかりやすい解説として、杉万（二〇〇六）を参照のこと）に依拠しつつ説明していこう。

我々が何かを認識したり、ある行為をするとき、規範に従っている。ここで規範とは、妥当な（想定可能な）認識や行為の集合である。規範の内容の決定者やその与え手として現れる超越的（抽象

的)な他者を「第三者の審級」という。第三者の審級はさまざまな形をとって現れる。その最も分かりやすい例は、神である。敬虔なイスラム教徒の社会生活は、アラアの規範の声に従って営まれる。他の例を挙げれば、世間体を気にして自他の行動を律する人は、世間という第三者の審級の規範の声に従っている。子供を叱る母親は、独り善がりにならざるを得なく、普通の母親(という第三者の審級)の規範の声を暗黙のうちに想定している。これらの例が示しているように、第三者の審級は、平たくいえば、認識や行為の正しさを保証してくれる、多かれ少なかれ抽象的な他者である。「独断で決めた」というような場合であっても、その心理過程を反省してみれば、「これが正しい」という規範の感覚を伴っている——「これが正しい」という規範の声を与えてくれる第三者の審級を暗黙のうちに想定している。

このことは科学的な営みについても同じことである。ある仮説の妥当性を実験に基づいて主張しようとする物理学者は、その理論や手続きの正しさを保証してくれる第三者の審級(物理学専門家コミュニティ)を暗黙のうちに想定している。斬新な理論を提唱する学者が「万人に理解されなくとも、この理論は正しい」と主張するとき、しかしその学者はそれを正しいと理解してくれる他者がどこかに存在することを暗黙のうちに想定している——そうでなければ「正しい」という感覚は生じようがない。

さて、このことを踏まえてリスク社会の特徴を要約するならば、リスク社会は、第三者の審級の不在によって特徴づけられる社会である。言い換えれば、正しさを保証してくれる(認識や行為に最終的な根拠を与えてくれる)究極的な他者の存在を想定できない社会である。伝統的には、宗教が、究極的な第三者の審級の位置を占めていた。近代以降は、科学が宗教にとってかわり我々の社会生活に

正しさの根拠を与えてきた。しかし現代社会においては、科学でさえも正しさの保証人としての役割を果たせなくなっている。実際、科学的知識が蓄積されればされるほど、未来に生じるリスクの予想やそれに対する適切な対策についての判断が、ある真理へと収束していく兆候を示さないどころか、ますます分散・分裂してしまうことを、我々は目の当たりにしている。たとえば、地球温暖化のリスクとその対策について、科学者は決して一枚岩ではない。むしろそれは政治問題となっている。あるいは、前の「科学的リスク認識とその問題点」で述べたような問題が顕在化してきたことも、科学技術が第三者の審級の位置を占められなくなったことの現れである。

リスク社会における第三者の審級の不在を象徴的に示すのが、医療におけるインフォームド・コンセントの普及である。それ以前は、医療の現場においては、専門的な知識と技術をもった医師が第三者の審級を代理してきた。複数の治療手段の選択を最終的には患者（とその家族）に委ねるインフォームド・コンセントが採用されたのは、いまや医師でさえ、どの治療手段が最も適切であるのかを判断（確定）できない（と社会的に見なされている）からである。しかも問題はその先にある。専門家たる医師にさえ判断不能な選択を、素人たる患者がいかなる意味でなしうるのか。その選択は、いかに患者の自己決定（権）などという耳あたりのよい言葉で彩られようとも、実質的には、確かな根拠のないままになされる、一種の賭けに化していることは明らかであろう。それはもはや真の意味での「選択」ではない。

このことから得られる帰結は、次のことである。第三者の審級の不在は、個人の選択（自己決定）を強化するのではない。全く逆に、個人の選択そのものをも空洞化してしまう。リスク社会において、科学技術は、個人や集団の選択と責任の範囲を拡大し続けていると述べてきた。しかし同時に、

リスク社会においては、科学技術でさえも第三者の審級の位置から撤退し、その結果、選択が無根拠な賭けと化してしまうのである。かくして、リスク社会の基調をなす社会的感情は、「不安」である。

科学技術と市民参加

最後に、科学技術への市民参加の動向について簡単に紹介しておこう。具体的には、デンマークを中心に広がりを見せている参加型テクノロジーアセスメントについて紹介する。科学技術への市民参加の動向は、科学技術（専門家）への信頼感のゆらぎ、科学技術でさえも選択（決定）の根拠を与えてくれる正しさの保証人（第三者の審級）の役割を果たしてくれないという不安を背景に、それらへの社会的対応の試みとして発展してきた。

科学技術が社会や自然環境に与える影響を分析評価し、その結果を科学技術政策や研究開発に反映させる試みをテクノロジータアセスメント（TA）とよぶ。一九七二年にアメリカでTAを行う技術評価局（OTA）が設立されたのを皮切りに、ヨーロッパ各国でもTA機関が設立され、TAの動きが広がっていく（アメリカOTAは一九九五年に廃止）。ただしこれら初期のTAにおいては、科学技術の影響の分析評価は専ら専門家に委ねられていた。

こうしたなか、デンマークでは一九八六年に国会の決議により技術委員会が設立され（その後一九九五年にデンマーク技術委員会（DBT）として正式に独立）、新たなTAのあり方として、参加型TAを開発し普及させていった。参加型TAにおいては、科学技術の影響の分析評価は、専門家を中心に行われるのではなく、専門家以外の一般市民や利害関係者が主役となる。こうした市民参加の試み

がうまくいくための条件として、藤垣（二〇〇三）は次の三点を指摘している。第一は、検討対象となつてゐる科学技術の影響を分析評価し、一定の判断を下す「主体」の多様性が保証されてゐることである。第二は、評価や判断に必要な情報が提供されてゐることである。そのためには、一般市民と専門家のコミュニケーションが市民参加の仕組みの中にうまく組み込まれてゐる必要がある。第三は、評価や判断をめぐる合意形成のプロセスやルールが明確化されてゐることである。参加型T Aの実践的手法にはさまざまなものがあるが、いずれもこれらの条件を満たすための工夫がこらされてゐる。

参加型T A手法の代表例として、コンセンサス会議を紹介しよう（小林、二〇〇四）。コンセンサス会議はD B Tが一九八七年に「産業と農業における遺伝子操作技術」をテーマに開催して以来、多くの国においてさまざまなテーマのもと開催されている。コンセンサス会議とは、政治的、社会的利害をめぐる論争状態にある科学的・技術的課題に関して、素人からなるグループが専門家に質問し、専門家の答えを聞いた後で、この話題に関する合意を形成し、最終的に彼らの見解を記者会見の場で公表するためのフォーラムである（Simon and Durant, 1994）。D B Tによる標準的なコンセンサス会議は、運営委員会（事務局）、市民パネル、専門家パネルの三グループから構成され、計画・準備段階から三日間続く本会議まで約六か月の過程からなる。その概要は次のとおりである（詳しくは小林（二〇〇四）を参照）。本会議の二〜三か月前に第一回会合が開かれ、初めて一堂に会した市民パネルが、コンセンサス会議の目的や市民パネルの役割などについて説明を受けた後、テーマ（たとえば、遺伝子組み換え農作物の開発と利用）に関する基礎知識を得たうえで、このテーマを討議する際の「鍵となる質問」を議論し決定する。会議の二か月前の第二回会合では、前回の議論を継続し、

「鍵となる質問」を最終的に確定して文書化し、市民パネルが回答を求める専門家に送付する。本会議は三日間からなる。第一日は公開で行われ、専門家パネル（一〇〇一五人）はそれぞれ二〇〇三〇分で市民パネルからの「鍵となる質問」に回答し、各自の専門的見解を提示する。その夜、市民パネルは「鍵となる質問」に対する専門家の回答を吟味し、第二日に専門家に対してする質問を決める。第二日は、午前中は公開で行われ、市民パネルと専門家の質疑応答がなされる。午後と夜は非公開で、市民パネルだけが集まり、いくつかのグループに分かれて討論し、テーマに関する最終的な「コンセンサス文書」を作成する。第三日は市民パネルが「コンセンサス文書」を公表する。専門家パネルは専門的事項の誤りに限って訂正を許されるが、内容にコメントすることは許されない。その後、会場全体で討論が行われる。会議終了後には、プレスレセプションが行われる。

このようなコンセンサス会議は、「科学的リスク認識とその問題点」で述べたような科学技術（専門家）への信頼のゆらぎ、科学技術をめぐる意思決定に参加したいという一般市民の側の欲求に直接応えるものであるといえる。と同時に、少数の一般市民と専門家の対話（質問と回答）から「コンセンサス」をつくらうという試みは、従来は科学が体現してきた普遍的な「真理」（超強力な第三者の審級）に、（その科学技術についての「選択」の根拠として機能するような）ローカルな合意を代置することによって、上述の「不安」に対処する方策であると解釈することもできる（矢守、二〇〇九）。

コンセンサス会議をはじめとする市民参加の仕組みで、最も問題になるのは、一般市民の「選択」をいかに現実の科学技術政策に反映させるかである。（ただしいうまでもなく、どの程度反映させるべきか、どのように反映させるべきかは、決して自明のことではなく、それ自体慎重に検討される必

要がある。)この点に関しても、デンマークでは運営主体であるDBTが国の機関であるため、参加型TAの成果が政策に反映されやすい(小林、二〇〇四)。その点日本においては、参加型TAは急速に普及しているものの、政策や研究開発に反映するルートはほとんど確立されておらず、課題となっている。

参加型TAをはじめ科学技術への市民参加の仕組みには実にさまざまなものがある。本章では紙幅の都合上ほとんど紹介できなかったが、興味のある読者は、小林(二〇〇四)、小林(編)(二〇〇二)、藤垣(二〇〇三)、Remm *et al.* (1995) などを参照されたい。

[永田素彦]

人間活動の環境負荷評価

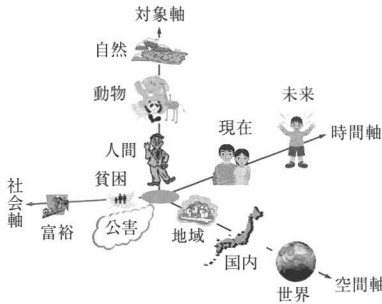


図 11-1 環境問題の四つの視点

産業革命以降、大量生産、消費、廃棄型のシステムを前提とし、快適な生活空間のなかで物質的な豊かさを大いに享受してきた現代文明は、先進国と発展途上国との格差が拡大する一方で、資源・エネルギーの枯渇、人口の爆発的増加、地球環境破壊といった地球の有限性を強く認識させる諸問題に直面している。これらの諸問題を克服し持続可能な社会を構築するうえでは、人間活動の環境負荷や影響を社会的に衡平かつ正確に評価することが一つのキーとなる。本章ではまず地球環境問題の特質にふれた後、隠れた環境負荷の可視化に有効なライフサイクル思考に言及し、私たちの生活とのかかわりについて考える。

地球環境問題の特質

地球環境問題には、主に先進国の経済活動による、(1) 地球温暖

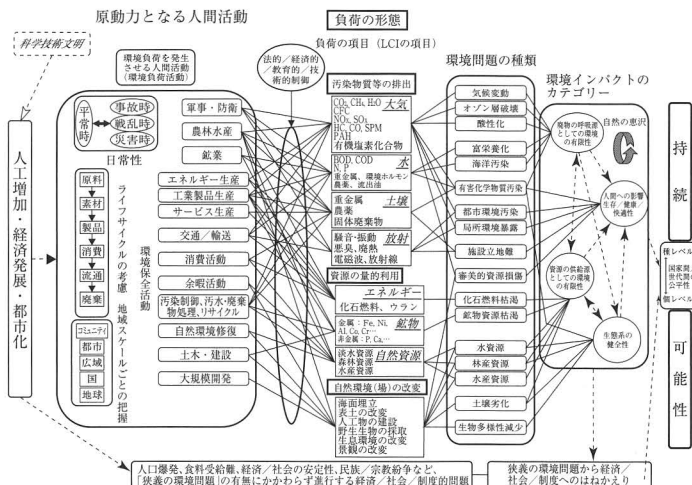


図 11-2 人間活動と環境負荷、環境問題、環境影響の対応図 (森口⁽³⁾に一部加筆)

化、(2) オゾン層の破壊、(3) 酸性雨、(4) 有害廃棄物の越境移動、(5) 海洋汚染と、主に開発途上国の人口急増や貧困による、(6) 砂漠化、(7) 生物多様性の減少、(8) 熱帯林の減少、(9) 開発途上国の公害、が挙げられている。地球環境問題は、公害では加害者と被害者の関係が比較的明確に分離される一方で、

- ① 発生源が非常に多数の主体（個人や組織）に拡散
- ② 因果関係の証拠の不確実性
- ③ 南北、世代間格差（未来世代の生存可能性）

といった特殊性を有し、単なる技術的問題ではなく、国際的な社会的・政治的課題である。図 11-1 は環境問題を考えるうえで重要な三つの軸（対象、時間、空間）を示したもので、公害は三軸の原点付近にあるが、地球環境問題は原点から各方向に範囲が延びており、従来の三軸に加えて新たに社会軸とでもいべきものを付加する必要がある。

図11-2は、さまざまな人間活動に伴う環境負荷とそれが引き起こす環境問題、影響項目（ヒトの健康・アメニティー、資源供給、廃物吸収、生態系）を示したものであるが、地球環境問題は、環境保全活動も含めたあらゆる人間活動と背後にある社会、経済、制度、文明とが深くかかわっており、国や世代間の衡平性を確保した持続可能な社会をどのようにして構築していくかが問われている。

隠れたエネルギー消費・環境負荷とその可視化

■ライフサイクル思考の重要性

製品の製造、サービス、インフラ整備など、我々の社会・経済活動には多量の資源やエネルギーが投入され同時に環境負荷が生み出される。通常、環境負荷といえば製品の使用段階（たとえば自動車の走行時に排出される排気ガス）について認識されることが多いが、果たしてそれで十分であろうか。我が国では石油や鉄鉱石などの資源はほとんどを輸入に依存しているが、その背後には経済的には無価値で通常は廃棄物として認識されることのない隠れたフロー（鉱物の採鉱段階で掘削される表土・岩石、選鉱段階で鉱物から分離される不純物、木材製品のために伐採される木材、食肉に投入される飼料など）が存在する。たとえば、金一キログラムを取り出すために一三六〇トンの廃棄物が生じるといわれている^④。

日本は多くの食料品を輸入しており、フード・マイレージ（食物の生産地から消費地までの距離に輸送量を乗じた値）は人口一人当たり約七〇〇トンキロメートル（t・km）でドイツ約二〇〇〇トンキロメートルやアメリカ約一〇〇〇トンキロメートルよりも多い^⑤。また、魚の養殖、野菜の生産に関係した種苗、肥料、農薬、温室や農業機械の光熱動力、建物・土地改良設備などへの投入エネルギー

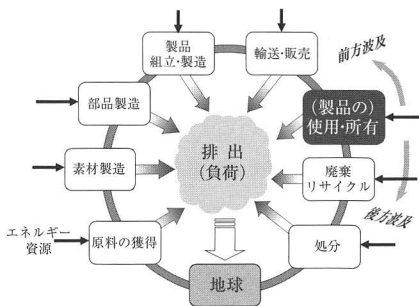


図 11-3 製品のライフサイクル

ーにみられるような食材生産時の間接的エネルギー消費もあり、食材の生産・輸送の間接エネルギーは、調理や買い物などの食の直接エネルギー消費の二倍以上にも及ぶことが報告されている。⁶⁾こうした直接、間接エネルギーの多くが化石燃料によって生産されており、CO₂をはじめとする環境負荷を生み出している。

このように、人間活動に伴う資源投入、エネルギー消費、環境負荷物質の排出は、人々の意識下にある使用段階だけでなくその活動にかかわるすべての間接的項目を考慮し総合的に評価することが極めて重要であることが分かる。また、人間活動を構成する社会経済的要素は世界的規模で相互に影響しており、環境負荷が誘発性や波及性を有することに留意しておかねばならない。

ライフサイクル思考 (Life Cycle Thinking: LCT) とは、対象とする人間活動にかかわる隠れた裏側までも含めたすべての過程 (ライフサイクル) を考慮することであり、環境負荷のもつ間接性や誘発性などを評価し社会全体の環境負荷低減や資源循環を考えるうえで必須の視点といえる。元来、ライフサイクルとは生物学的用語で生物の誕生から死に至るまでの周期を意味する言葉であり、日本語では「生活環」と訳されている。現在では、ライフサイクルの意味が製品、インフラ、集団、活動などに拡張されているが、製品の環境への影響を考える場合には、図 11-3 にあるように原料採掘から部品の製造・加工・組立、輸送、使用、廃棄・リサイクルに至る段階まで (ゆりかごから墓場まで) を指す。

ライフサイクルアセスメント

人間活動の隠れたエネルギー消費や環境負荷、および環境負荷の間接性・誘発性・波及性を評価する手法の一つとしてライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment: LCA) がある。国際標準化機構 (ISO) の 14040 シリーズでは、LCA は製品の原料採掘から使用、廃棄に至るすべての段階においてエネルギー消費量や環境負荷を定量化し、環境への影響を評価するとともに、その結果を解釈する一連のガイドラインが定められている。現在では産業界において実務の段階に達するとともに、自社製品の LCA の結果をカタログやホームページ、環境報告書に記載する企業も数多い。ISO 14040 シリーズで定義されている LCA は「製品またはサービスに付随する環境側面と潜在的影響を評価する技法」と対象が限定されているが、インフラやライフスタイルなど対象範囲は拡大している。LCA の実施手順は、①製品間の比較を行うなどの用途、調査理由、調査結果提供者を明らかにし、それに従って調査範囲を最初に設定する。その後、②投入される資源量や排出される CO₂、NO_x、富栄養化物質、有害化学物質などの環境負荷量をライフサイクルの各段階、単位プロセスごとに詳細に計算する。この二段階がライフサイクルインベントリ (LCI) 分析といわれるものである。その結果を受けて、③種々の環境負荷が及ぼす影響、たとえば、地球温暖化、富栄養化、資源枯渇など環境項目に対する影響 (被害) を検討するインパクト評価 (LCIA) が行われ、④実施方法による結果への影響を考察する解釈の段階へと進む。得られた結果の妥当性は、第三者による審査 (クリティカルレビュー) による検討が必要であり、併せてインベントリデータ等の不確実性を考慮した感度解析などが重要である。

複数製品の比較に際しては、単に製品のライフサイクルの環境負荷の総計を比較するのではなく、

公平性の点から製品の機能で基準化した量で比べなければならない。製品の機能（製品特性）は機能単位とよばれ、これによって入出力データの基準化を図る必要がある。

■隠れた環境負荷の可視化

低炭素社会、循環型社会などに代表される持続可能な社会の実現には、隠れた環境負荷を定量化し、人間活動の持続可能性の程度を分かりやすい指標で表現した情報提供が必要である。前述のフード・マイレージは一例であるが、食料のライフサイクルのうち輸送過程しか考慮されていない。具体的な指標として、ある製品やサービスを得るために必要な隠れたフローも包含した総物質質量で表現するエコロジカル・リユックサック⁷⁾（製品の背負った重荷）、ある国や地域の人間活動を永続的にサポートするのに必要な生産可能な土地面積で表すエコロジカル・フットプリント⁸⁾（人間活動が「踏みつけた面積」、一国や人間が自らの活動を行うために直接的・間接的に消費している土地面積）が提案されている。

我々の生活、特に消費と地球環境問題の関係は自身の問題としてとらえることが困難で、いかなる行動が地球環境問題の解決に貢献するかを実感することは難しい。個人レベルでの環境問題への意識向上を図る方法として、消費者に商品の省エネルギーや環境情報を、シンボルマークなどを用いて提供する環境ラベルがある。ISOで規格化された環境ラベルにはタイプI～IIIの三つがあり、タイプIとは、エコマークに代表されるようにライフサイクルを通じた環境負荷がある基準値をクリアしていれば第三者の認証機関から与えられるもので、消費者にとっては目安にしやすいものである。タイプIIは第三者による認証は必要とせず、メーカーや流通業など製品やサービスを提供する企業が、自社の製品やサービスの環境配慮を主張する環境ラベルであり、省エネルギー、省資源やリサイクル可

表11-1 環境負荷データ表示／提供する環境ラベルやデータベースの例

制度名	エコ商品ねっと	エコライフ環境ラベル	家電製品環境情報	車種別環境情報	省エネ性能カタログ	低公害車ガイドブック
運営主体名	グリーン購入ネットワーク	産業環境管理協会	日本電機工業会	日本自動車工業会	経済産業省、 省エネルギーセンター	環境省、経済産業省、 国土交通省
対象物品	紙類、文具類、 オフィス家具、 OA機器、 家電製品、 照明器具、 自動車、繊維製 品	耐久消費財、 業務用機器・材 料、日用品、基礎 資材、エネルギー、 情報通信、 物流システム、 自動販売機など	電気冷蔵庫、 電気洗濯機、 家庭用エアコン	自動車 (乗用車および 商用車、二輪車)	エアコン(家庭、業務)、 DVDレコーダー、 冷凍冷蔵庫、テレビ、 ジャー炊飯器、 電子レンジ、パソコン、 蛍光灯器具、 温水洗浄便座、 ストーブ(ガス、石油)、 温水機器(ガス、石油)、 ガスコンろ、 業務用コピー機	現在日本で入手で きる低公害車 (販売またはリースにより市場に供 給される車)等
ライフサイクルの範囲	資源採取、製造、流通、 使用・消費、廃棄、 リユース・リサイクル	資源採取、製造、流通、 使用・消費、廃棄、 リユース・リサイクル	資源採取、製造、流通、 使用・消費、廃棄、 リユース・リサイクル*	使用・消費、廃棄、 リユース・リサイクル*	使用・消費	使用・消費
環 境 負 荷 項 目	資源消費	○	○	○		
	エネルギー消費	○	○	○	○	
	大気・水・土壌への 汚染物質排出	○	○	○	○	○
	廃棄物排出	○	○	○	○	
	有害物質利用	○	○	○	○	
	生態系破壊	○				
その他		○	○	○		

*環境負荷項目によって異なる

〔環境省ホームページ (<http://www.env.go.jp/policy/hozen/green/ecolabel/b02.html#2>) より作成〕

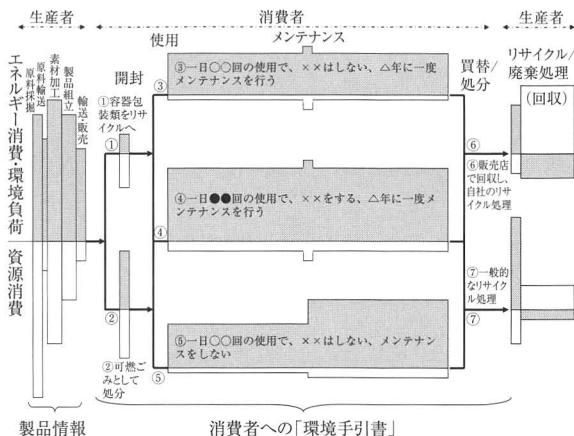


図11-4 消費者への環境手引書としてのLCAの利用^{⑨)}

性能などをシンボルマークなどで表現する。さらに、タイプⅢは、LCAによって製品に関する環境負荷を定量化し、算出したデータからトータルに環境負荷を把握する環境ラベルである。表11-1に現在我が国で環境負荷データを表示/提供する環境ラベルやデータベースを示す。また、企業のCSR報告書や製品カタログなど消費者に身近な媒体を通じてLCAの結果が提示されている例も少なくない。しかしながら、消費者の誰もが示されたデータを容易に理解することは難しく、製品選択の意思決定に資するものとするには、結果の提示方法を工夫するとともに明確な基準に裏付けされたものでなければならぬ。すなわちラベルの受容性と信頼性が不可欠である。

人間活動から排出される環境負荷は図11-2のように多岐に及ぶが、喫緊の課題である地球温暖化防止における家庭や業務部門からの温室効果ガス排出量削減の取組みを促進するため、商品やサービスのライフサイクルCO₂換算排出量を可視化(二酸化炭素等価グラムで表示)して表示するカーボンフットプリント(CF)制度の導入の動きが各国で進められ、ISOでもISO14067として二〇一一年に発行が予定されている。CFは商品に直接CO₂排出量を表示す

ること、消費者の環境配慮行動への変化を期待するもので、省エネルギーのように製品間の比較がしやすい。CFは環境ラベルの一つであり、事業者はサプライチェーン全体での排出量削減の最適化と自社製品の環境優位性のPR、消費者は自身がCO₂排出者であることの認識と商品選択肢として利用できるメリットがある。これにより持続可能な生産と消費への主体的な行動を促す。

消費者は製品のライフサイクルには生産者だけでなく消費者自身も介在し、消費者の製品の扱い方や使用年数、リサイクルなどの行為によってその製品のライフサイクルを通じた環境負荷量は増減するという認識をもつことが重要である。したがって、単にLCAの最終的な結果の提示だけでなく、消費者の行動に典型的なシナリオを設け、そのシナリオに応じて環境負荷がどの程度増減するかを分かりやすく示す図11-4のような、いわば「環境手引書」としてLCAを活用することも有効であろう。製品が内包する環境負荷は消費者の行動によって変動することをLCAによって明示し、最も負荷の少ない行動への道標を提示することが持続可能な消費への第一歩となる。また、環境負荷と同時に削減量の具体的な数値目標と消費者の便益も併せて示すことが望まれる。

[東野 達]