

データの利用可能性は、大半の影響研究において、おそらく主な制限因子である。最新のデータを収集することがある研究にとって重要な要素であっても、現存するデータソースに頼る場合が多い。従って、詳細な評価に取り組む前に、必要となるデータの主な特徴を明確にしておくことが重要である。すなわち、

- *必要となるデータのタイプ

- *時間、空間的な適用範囲及び分解能

- *情報源及びデータの形式

- *データの量と質

- *入手可能、費用、入手期間

3.1.6 より広い視野での研究の位置づけ

調査の目標は全く独自のものであるが、次のような視点で見直してみることも重要である。

- *同様な、または目的を同じくする研究が既に完成していたり進行中ではないか。

- *研究対象地域の政治、経済、社会システムはどうか。

- *研究対象地域では、その他の社会、経済、環境的変化は生じていないか。

このような局面から考察を行なうことは、政策立案者が個々の研究をより広い意味で評価する際に役立つであろう。

3.2 手法の選択

気候影響評価では、多様な分析手法が選択できる。手法は、定性的かつ記述的研究から、より診断的及び準定量的評価、定量的かつ予知的分析にいたるまでの範囲に広がっている。どの影響研究も、これらのタイプのうち一つまたはそれ以上の要素を含んでいる。4つの一般的な手法が認められよう。すなわち、実験法、影響予測法、経験的類推研究、専門家による判断である。

3.2.1 実験法

自然科学の分野では、仮説の検証または原因と結果の評価過程で直接実験を行なうのが最も標準的な手法である。しかしながら、気候影響評価においては、実験法の適用には限

りがある。地球規模の気候のような、大規模システムを再現することが物理的に不可能なのは明かで、気候と人間の関与する活動に関する相互作用を実験的に制御し観察を行なうことなどは到底不可能である。したがって、通常、影響スケールが管理できる場合、曝露ユニットが測定できる場合、環境が制御できる場合にのみ実験法が実施される。

これまでのところ、実験法の適用により、気候と大気組成の制御された条件のもとで特定の植物がどのような反応をするかということについて観察が行なわれてきた。この分野では、大気中または温室効果ガスを含んだ開放系または閉鎖系のチャンバーの中にガスを放出することによって行なわれる、ガス濃度増加研究が主な実験法研究となっている。前者の研究は、より現実的であるがコントロールしにくい。チャンバー実験はガスと同様に気候もコントロールできるが、チャンバー内の条件は現実には生じるものではなく、新たな制約条件をもたらすのである。研究所においては最も高いレベルの制御が可能であり、その過程でより詳細でより高度な分析手法を用いた研究が行なわれるであろう。

研究対象となる主要なガスは、二酸化炭素、二酸化硫黄、オゾンであり、これらは全て、将来の植物の生長や生産性に関して気候と相互作用的な役割を担うと思われる。将来の起こりうる気候条件をシミュレートするために気温と水の関係が制御されてきた。これまで、農作物(一年生及び多年生作物についても)、作物の害虫と病気(対象となる植物に同時に発生することが多い)、樹木(通常は若木、樹種によっては成木)、自然植生及び群落(競合現象についての研究)などについて実験法が行なわれてきた。

さらに、これまでに他の分野でも実験法が用いられたこともあり、気候変化に伴う影響評価に対して有用な情報が提供された。例えば、建築物の材料とデザインについては、環境的な影響とエネルギーの節約のため改良及び試行がつけられている。気候条件が変化し、将来にこのような素材が広く使われると仮定すると、こういった試行から得た情報は素材の性能に関して研究の糸口を提供する。

実験法から得られる情報はそれ自身としても有用であるが、気候変化の影響予測で使われるモデルを調整するにもまた有用である(以下を参照のこと)。

3.2.2 影響予測

気候影響評価の主な目標の一つは、特に、将来の気候変化に関する視点から、起こりうる影響を予測することである。温室効果ガス濃度の上昇に伴って、将来の気候がどう変化するかについては、日々進歩しているモデル予測が利用できるようになった(例;IPCC、1990年a)。これらの結果は、科学者、一般大衆の注意を喚起するとともに、政策立案者が、時間範囲や地域的な制約のもとで影響の定量的な評価をくだし、必要な判断をするように促した。

このように、影響予測に関して、将来を外挿するために数学モデルを利用したものが、近年行なわれた多数の調査の焦点となっている。将来の気候予測で用いられている"気候

モデル"とこれらのモデルを区別するため、"影響モデル"という言葉が広く一般に受け入れられている。

ある特定の将来影響予測手順に関しては3.4に詳述する。ここでは、主な予測モデルの分類とアプローチについて述べる。影響モデルの分類にあたって、2.3.1に述べた相互作用の階層構造にしたがうのが簡便である。気候の第1次影響は、生物物理学的モデルを用い、第2次以上の影響は、生物物理、経済、定性的モデルを用いて通常評価される。最後に、統合的システムモデルを用いた総合評価が試みられる。

(1)生物物理的モデル

生物物理的モデルは、気候と曝露ユニットとの物理的な相互作用を評価する。形式は2種、すなわち、経験的-統計的モデル及びシミュレーションモデルである。これらを利用した将来影響の評価は、おそらく農業部門(例:WMO、1985)や水資源の水文学的局面(例:WMO、1988)で最もよく立証されているが、他の部門にもその原則を拡張することはたやすい。

*経験的-統計的モデルは、気候と曝露ユニットとの統計的な相関に基づいている。これらは、適切さや潜在性に関する単純な指標(例:重要航路の非凍結期間を確定するために気温の域値を明確にすること)、予測のために利用される単回帰モデル(例:大気温度を利用したエネルギー需要予測)から重回帰モデルなどの広範囲にわたっている。また、これらのモデルは、最も重要な因子から観察された現象に関して統計学的な説明を試みている(例:気温、降水、降雪データと施肥に関する作物収量変化の予測)。

経験的-統計的モデルは、今日の気候変動にもとづいて開発されている。そのため、将来の気候変化を考える上で主な弱点の一つとして、今日生じうる気候変動の振れ幅を越えた気候的事象に関する将来予測には、限界があることがあげられよう。さらに、多くの統計的モデルに対する批判としては、モデルが、原因となる重要なメカニズムを理解せず、むしろ統計的な相関に基づいて作られているという点があろう。しかし、モデルは決定プロセスに関して十分な基礎的知見を提供し、外挿のための基礎となるので、気候影響評価のための有効な予測法となりうる。経験的-統計的モデルは、シミュレーションモデルに比べて入力すべきデータが少なく、応用しやすいことが多い(以下を参照のこと)。

*シミュレーションモデルは、確立された物理法則や理論を用いて、気候と曝露ユニットとの相互作用に関するダイナミックスを表現するものである。この考えに基づく、モデルは、異なる状況においても似通ったシステムについては不変的に適用可能となるようなプロセスの表現を試みている。例えば、葉の光合成に関するモデル化の手法はほぼ確立されているが、これは植物種や環境が変わっても適用可能である。普通、モデルのキャリブレーションによっては、局地的な環境特性を考慮する必要があるため、明瞭にはモデル化されておらず、この点は経験的データに基礎をおくのが普通である。それにもかかわらず、予測研究の実施において、経験的-統計的モデルよりも、これら過程に基礎をおくモデルは、より強固な基盤に立つことになる。大半のシミュレーションモデルにおける主な問題

は、モデルの試行と将来影響のシミュレーションの両方について、入力するためのデータが必要となる点であろう。このためモデルの利用は地理的空間において、関連のデータが利用できるいくつかのポイントに制限されることになる。

(2)経済モデル

局地的及び地域的な経済に対する、第一次の影響関係を評価するために、いくつかのタイプの経済モデルが用いられる。長年にわたって気候影響評価への応用が主張されてきたにも関わらず、残念ながら実際に利用されたモデルは僅かである。大半の事例は、やはり農業分野で行なわれたものである。しかし、生物物理的モデルと同様に潜在的応用範囲は広い。ここでは、モデルを3つに分類しその概要を述べる。すなわち、ミクロシミュレーションモデル、投入-産出モデル、マクロ経済モデルである。

*ミクロシミュレーションモデルは、ミクロレベルにおける経済活動を真似ようとし、主な経済的作用のうち、管理できるかぎられたいくつかの相互作用のみを考察する。例えば、農園レベルのシミュレーションモデルを仮定すると、まず、異なる生産手法、適切な資金源の配分、機械類と建築物と労働を選択しなければならない事態に直面し、そして選択の結果十分な見返りを期待している農夫の意志決定プロセスを反映している(例;Williamsら、1988)。このようなモデルはまた、生産性のデータを必要とし、生物物理的モデルによる結果と関係づける可能性のためのつなぎとなっている。モデルのアウトプットには、農園レベルでの見積り、例えば、収入、選択された生産計画を成し遂げるための現金支出と算段費用などが含まれる。

*投資-生産モデルは、生産活動の相互依存の研究を通して発達した。ある活動に伴う生産は他への投資となり、その逆もまた真である(Lovell and Smith、1985)。ある一つの経済活動について述べると、ある活動が一定のアウトプットを得るためには、全ての活動のインプットの必要条件に依存する。気候影響評価に関連していえば、投資-生産モデルは気候的事象によって生じる生産高の変化について、広い経済影響を研究するために利用できる(例えば農業分野についてはRosenberg and Crosson、1991)。

投資-生産モデルの適用範囲に関しては、単位あたりの投入と産出との関係が、概ね一定であるとする。この点は、アプローチとして弱い点となっている。つまり、生産と影響のフィードバックは(需要-価格曲線のように)活動の間によって関係が変りうるからである。この点は、数年以上の将来の生産活動の予測に関しては特に言えることである。それでも、このアプローチは相対的に適用がしやすく、データの入力には要求されない。さらに、このモデルはすでに計画のツールとして一般に用いられている。

*マクロ経済モデルは、スケールのことになったものや、一つまたはそれ以上の地域や、グローバルな経済の結合を試みる。また、このモデルは、地域生産、国内の需要と供給等の面から商品及び国際貿易を考察する。統計的モデルとダイナミックモデルを区別することは重要である。前者は生産、貿易、政策パターンの現状を基礎として開発されたものであ

る。この点は、長期間にわたる気候の影響を考察する際には不利である。なぜならこのタイプのモデルでは、短期間の変動を扱うのに効果的となるよう、その他の全てのファクターは現状と変わらないと仮定しているからである。それに対して、ダイナミックモデルは、経済システムについてより現実的なフィードバックプロセスを構築しようと試みており、例えば、政策による調整や需要供給の自己規制と価格の関係をシミュレートする。当然のことながら、ダイナミックモデルは、統計モデルと同様に、基礎をおいている過程や知見に信頼性がある時のみ信頼がおける。

スケール規模の大きい分析手法を目的として、いくつかのモデルが開発され、気候影響の考察のために採用されている。例をあげると、地域的又はグローバルな農業のモデル(Robinson、1985; Liverman、1986; EPA、1988)、さらには森林分野の影響(Binkley、1988)などの影響研究においてこのモデルが採用されている。その他のモデルは、現存するスケールの異なったモデルを混成したものに相当し、気候変化に伴って生じると予測される影響に関する問題を説明するため、特別に結合したものである(例;カナダにおける農業経済への影響- William et al.、1988)。

(3)統合的システムモデル

統合的システムモデルは、地域的、分野的結合システムから与えられた総合モデルをもとに描かれた、モデル化のアプローチに関する要素を結合する試みを表現している。このようなモデルに要求される重要な点の一つは、フィードバックシステムをシミュレートすること、もう一つはモデル内部のメカニズムを調節すること(例;エネルギー消費は温暖化に寄与する温室効果ガスの発生を招くが、温暖化はエネルギーの需要に影響し消費にフィードバックが生じる)、さらには外部的な調整に関することである(例;世界条約における温室効果ガスの削減と、温暖化及び起こりうる影響の減少)。

このタイプのモデルは、主に政策手段として有効で、政策決定者が活動範囲における気候変化の関係を広範なスケールで評価することを可能にする。しかし、複雑さに加えて、データの必要性やモデルの検証など、モデル化されたシステムの各過程から伝播する不確実さを表現する能力について重大な懸念が存在する。

未だ十分な統合的システムモデルは開発されていないが、部分的な統合的アプローチは過去の研究において追及されている(例; Department of the Environment、1991; Rosenberg and Crosson、1991; Yin、1990)。これらは全て個別のモデルを結合したものである。環境及び経済な相互作用に対する、一般的な均衡モデル化アプローチは、潜在的気候変化の、直接または非直接的影響、費用便益の評価に必要である。地域によってはこのようなモデルの開発研究に対する優先度が高い。

3.2.3 経験的類推研究

ある地域における気候と社会の相互作用を観察することは、将来の影響予測にとって重

要である。異なる時間と場所から得られた情報を対象地域に転用することにより類推する手法は最も一般的に行なわれている。3つの類推のタイプが認められよう。すなわち、歴史的類推、現在の気候からの地域的類推、将来の気候に関する地域的類推である。

歴史的類推は、過去の情報から将来に予測される条件を類推するものである。データは、過去の異常気象における記録(例;干ばつや炎暑期)や、その影響(風による土壌浸食の厳しい期間)などから収集される。指標が、事象の起こる前、最中、その後を比較されることから、この評価は "長期的"手法(Riebsame、1988)に従うものである。このアプローチの例はGlnatz(1988)に見いだされる。しかし、この手法が成功するかどうかは、評価者の、与えられた影響に対する気候的影響と非気候的影響を分離して説明する能力に委ねられている。

現在の気候からの地域的類推は、研究対象地域について現在の気候が似ているところを参考とするものである。そこでは、社会に対する気候の影響もまた、同様であると判断される。この前提を正当化するためには、概ね研究対象地域のその他の環境因子(例;土壌と地形)や、発展のレベルや個々の経済システムなどが、同じでなければならない。このような条件が満たされれば、"ケースコントロール"手法(Riebsame、1988)に従う評価を実施することが可能となろう。ここでは、目的のケースと対照となるケース(コントロールケース)と比較され、目的の地域は異常な天候を経験するのに対し、対照地域では通常の条件のままである。

将来の気候に関する地域的類推は、現在の気候からの類推と原則は同じであるが、唯一異なる点は、分析者が、将来予測される気候と同様な気候をもつ研究地域を明かにしようと試みることにある。この場合、類推地域は現在の研究地域と全く同等である必要はない。なぜならば、気候変化の結果として多くの特徴は変化している(例;土壌、土地利用、植生)と考えられるからである。このような特質は、自然景観や人間活動が研究地域において、将来どのように変化するかということに関する指標となる。この点に関する十分な評価のため、システムや住民が変化に適応する能力についても当然考慮する必要がある。この原則は、いくつかの影響モデルの応用範囲を広げることでその価値を示すであろう。例をあげると、アイスランドにおける牧草の生長モデルは、現在北部イギリスにある種で検証される。北部イギリスは、現在より4℃高い気候のもとでのアイスランドの類推地域にあたる(Bergthorsson et al., 1988)。

しかし、類推対象地域のその他の面は、研究地域同様であると仮定する必要がある(例;日の長さ、地形、発展レベル、経済システム)。もし、条件が満たされないときには、ケース・バイ・ケースで考察する必要があるが生じる。この問題をうまくきりぬける方法の一つは、同じ地域で高度の異なる地域を考察することである。この手法は現在のところ、スカンジナビア半島の異なる高度での多様な気候条件における樹木の優先種と生長に関する調査において用いられている(Koski、私信、1991)。

3.2.4 専門家による判断