

わめて重要である。モデルの評価に対しては標準的な手順が用いられるが、気候変化にあわせて調節するため修正が必要となろう。主な手順として、感度分析と検証の2つが推奨される。なお、これらは一般に、正式の影響予測に先んじて行なわれるものである。

感度分析は、構造、パラメータ値、または入力変数の値を変えてモデルの性能に与える影響を評価する。気候変化についてこの原則を拡張すると、モデルの気候学的な入力変数が、地域で生じるおそれのある気候的条件の範囲を表現するようにシステムチェックに変化させられる。以下のようにして、情報を得ることができる。すなわち、

*入力の変化に対する出力の感度。この点は、例をあげると、パラメータの値に関する不確実性から生じるモデルによる推定値まわりの信頼限界を評価することで示される。

*モデルの頑強さ(例えば、異なる入力を与えられた時モデルが正しく作動するか否か、あるいはモデルが機能しなくなる状態)。

*モデルの適用範囲の広さ(調節可能な気候の入力範囲を含む)。

*入力変数の変化に対する、曝露ユニットの脆弱性または反応性。

検証は、モデル予測を現実世界の観測値と比較するものである。採用される検証の手順は、いくらか検証されるモデルのタイプによって異なる。例えば、気温と牧草の収量に関する単純な回帰モデルの有効性では、理想的には回帰に用いられたものではない、ある年数からのデータで検証を行なうことであろう。ここで、特に、モデルの成功は、その出力、すなわち牧草の収量に関する予測能力によって判断される。逆にいえば、シミュレーションモデルは、基本的な生長過程を基礎として牧草の収量を算出するが、これは、気温などの気候によって影響を受ける。つまり、モデルの異なる内部の要素(植物の生長と水利用など)は、最終的な収量と同様に測定値と比較されねばならない。

気候変化により、検証のためのいくつかの問題が生じる。つまり、将来と同様の条件下で、モデル化されたシステムの動作を検証するために利用し得る局地的データはほとんどないからである。理論的にいえば、シミュレーションモデルは広範囲に適用可能で(3.2.2参照)、方法はどうかあれ広範囲の環境で検証されるべきであろう。しかしながら、経験的-統計的モデルを開発された条件以外の範囲に外挿できる場合は、極めて少ない。将来の気候に関する地域的な類推の利用は、この問題をもたらし可能性のある手法である(3.2.3参照)。

3.4 シナリオの選択

影響は2つの異なる状態のもとで算定される。すなわち、気候変化の生じない場合に対象期間に期待される環境と社会・経済的条件と、気候変化が生じた場合の環境と社会・経済的条件である。環境、社会・経済は、静的なものでないと認識することは重要である。

環境、社会・経済は、たとえ気候変化が生じなくとも変化し続ける。気候変化に伴う環境、社会・経済の影響を正確に算定するためには、研究地域において、独立して生じる環境、社会・経済の変化を分離して計測する必要がある。したがって、まずはじめに、現在の気候学的、環境的、社会・経済的条件を描くベースラインを定めることが求められる。そして、気候変化が生じない場合の研究対象期間にわたる気候学的、環境的、社会・経済的条件の予測を行わなければならない。これらベースラインの条件は、影響を予測した後、気候変化の下で環境、社会・経済条件と比較される。現状および気候変化無しの条件下で予測を正確に表現するベースラインを定めることは、評価のために重要かつ基本的な段階である。

3.4.1 現況の確認

将来予測と現在の状況を比較するために参照点を与えるために、"ベースライン"条件には特に必要とされる3つのタイプが存在する。すなわち、気候学的、環境的、社会・経済的ベースラインである。

気候学的ベースライン

気候学的ベースラインは大概、次に示す基準にしたがって選択される：

*研究地域における現在または近年の平均的気候によって代表させる。

*重大な異常気象(例;激しい干ばつや厳しい寒波)のような、気候変動の範囲を包含するため十分な継続期間をとる。このような事象は、影響モデルに入力する際に特別に取り扱えば、現在経験している異常な気候変動の範囲について、影響を評価する手段が得られる。

*多数の異なる標本変数と、データ提供地域の地理学的な範囲を満たすため、適切な局地気候学的データが利用できる期間を確保する。

*影響評価において利用する場合には、十分な質を持ったデータを採用する。

一般に気候学的ベースラインは、世界気象機関(WMO)により30年の"正常な"期間と定義されている。最近年の基準となる正常期間を推奨するということ、つまり、今日なら適切な選択期間を1961年~1990年とすることは、十分な理由に基づいている。第1に、これは最近年のWMOの標準となる正常期間である(以前は1931年~1960年であった)。第2に、人類の大半と自然システムの一部は、現状の気候にかなりよく適応している。第3に、この期間の終りは、通常将来の気候とその影響の見積りに用いられる予測期間の開始時期に一致している(例えば、IPCCの予測は1990年から始まっている-IPCC、1990年)。第4に、気候学的データは、この期間のものがより利用しやすくなっている。特に、多数の国家においてコンピュータ用にコード化された日単位の気候学的データは、1950年の中ごろから現在までのデータのみが利用できる。

影響研究がある程度の一貫性を保つためには、1961年~1990年が広く採用されるのが望ましい。しかしながら個々のケースをみると、他の期間を選択した正当な理由も存在する場合もある(例;データ上の制約、または方法論的な理由による)。また、より最近年では、地域によってばらつきが大きく例外もあるものの、既に温暖化の"兆候"が表れていることに注意すべきである。

ベースライン期間から得られる気候学的データは、研究地域の現在の気候を表し、影響モデルの入力に用いられる。後者の場合、方法は幾つか存在する。あるモデルでは、一年かそれ以下の期間について算定を行なう(例;作物生長モデル)。このような場合には、一般にベースライン期間内の数年にわたる独自の気候学的データを利用することができる。

モデルによっては、数十年または一世紀の長期間にわたるものもある(例;土壌浸食モデル)。こういった場合の選択枝の一つは、長いベースライン期間を選定することであるが、データ不足にはばまれるのが普通である。代替案としてはベースラインデータを繰り返し使うというものである。例えば、100年のシミュレーションにおいては、30年のベースライン期間における一年目を31年目、61年目、91年目に用いることになる。この方法の問題点は、ベースラインとして見込まれる気候の傾向や周期が、長期間にわたって非現実的な様式で繰り返されるということにある。

長期間の周期やデータが欠落しているという問題に対して、今日気象模擬発生器を採用しているモデル化研究が存在する。これらは、観測された気候の統計的な特徴にもとづいて、ランダムな場所での日々の天気をシミュレートするものである。一度開発されると、モデルは、ベースラインの気候と同様の統計的特徴を持ちつつ、必要な期間の長さに応じた気候学的データの時系列の作成が可能となる(Hutchinson、1987参照)。

環境のベースライン

環境のベースラインは、曝露ユニットへ影響するその他の非気候的環境因子の現況を示す。ベースラインは、一定値または変動する量として定義することとなろう。一定値をとるベースラインは、特定時点に合わせて、環境に起因する問題の平均的状态を明かにするため用いられることが多い。例を示すと、ある年の二酸化炭素の大気中平均濃度、ある地点の土壌pH、天然湿原の位置などがこれにあたる。注意すべきケースとして、将来の気候変化によって上昇すると予測される平均的な海面水位があげられる。なお、ベースラインを固定化すると、フィールド実験(例;植物の生長に与えるCO₂の影響)で制御条件を指定する際には特に有用である。

変動幅を持って表現されるベースラインには、時間・空間的な環境因子の変動とその気候との相互作用を考慮する必要がある。例えば、オゾンと気候が植物の生長に及ぼす影響の研究では、現状のもとでのオゾン濃度については、平均値と最大値はいずれも重要な情報である。

社会・経済的ベースライン

社会・経済的ベースラインは、曝露ユニットへ影響する非環境因子の全てについて現況を示すものである。この因子とは、地理(例;土地利用、コミュニケーション)、技術(例;汚染防止、作物の耕作)、管理(例;森林の配置、肥料の使用)、法律(水使用量、大気濃度基準)、経済(例;商品価格、労働賃金)、社会(例;人口、食物)、政治(例;土地の保全、土地の保有権)などに関するものがあげられる。これらは全て将来変化する可能性を持っている。さらに、重要なのは、ベースライン条件のうち特に関係が深い因子を示すことは当然として、影響実験に直接関係ないものも必要だということである。

3.4.2 予測の時間的フレーム

影響実験に際しては、算定される時間的範囲を考慮することが重要である。時間的範囲を選択にあたっては、3つの要因が関係してくる。すなわち、予測可能性の限界、予測の適合性、および評価が連続的に行なわれるか、または離散的な時点を考慮するか、といった点に関することである。

予測可能性の限界

時間範囲の選択は、主にアセスメントの目的によって変わる。もっとも将来の予測可能性について、明かに限界が存在する。気候予測は、気候影響研究の主要な要素となるので、影響予測に関して外的な限界を定めることとなる。GCMは、100年以上の予測計算を行なうのはまれである。その理由は、このような長期にわたる予測では多大な不確実性や、コンピュータ計算上の制約が伴うことにある。ここで課せられる外的範囲は2100年である。気候予測の大部分は、工業化以前と比較してCO₂等価二倍平衡時の放射強制力について行なわれている(以下の3.4.5参照)。これは、中期の予測範囲を用いると、早くは2020年に生じるとされる(IPCC、1990年)。

もっとも、予測期間の長期化は、影響によっては概して非現実的となるおそれもある(例;多くの経済影響に関して)。一方、予測期間が短すぎると、推定された気候の変化とその影響が容易に検出されず、政策対応の評価が困難になる。

予測の適合性

将来の気候、環境、社会-経済的予測が時間、空間的な意味で、相互に矛盾しないよう保証することは重要である。よく混乱がみられる点は、CO₂の増大と気候変化の相対的な時期に関するものである。すなわち、大気中のCO₂等価二倍は直ちに2倍の大気CO₂を表すものではなく、両者に対する気候反応にはタイムラグがある。

特定時点または連続的アセスメント

影響の考察は、将来の特定時点に関するものであるか、影響を連続的または時間に依存する影響を考慮して調査されたものであるかどうかによって区別される。前者は、CO₂二倍シナリオにもとづく多くの気候影響評価に特徴的である。これらのシナリオは、相互比較や特定の気候シナリオ(それ自身十分定義されていないこともある)の下で、同時期に生じる影響の考察を行なう際に有利である。しかしながら、このやり方では、最終的な影響が生じるまでの中間的な期間に起こりうる影響を全て無視することになる。また、変化速度の評価が困難であり、その結果、対応戦略の評価も難しくなる。

これに対し、過渡的な気候シナリオは時間に依存する現象や動的なフィードバック機構の調査や、社会・経済的な適応の考察も可能とする。それでもやはり、過渡的なシナリオに基づく影響研究の結果を表現するためにも、予測期間内の主要な時点について"時分割"する方法をとるのが慣例となっている。

3.4.3 気候変化が生じないと仮定した場合の環境の傾向の予測

気候変化がない条件を記述するベースラインを定めることは、きわめて重要である。というのも、このベースラインは全ての予測される影響が計測される基礎となるものだからである。例えば気候変化が生じなくとも、他の環境的要因に生じる将来の変化は相当確度が高く、曝露ユニットにとって重要な問題となろう。例をあげると、森林の減少、放牧の拡大に伴う変化、地下水位のレベルや大気、水、土壌の汚染の変化などである。これらのうち、公的な傾向予測が存在するものもある(例;地下水位)が、そうでないものについては、専門家の判断を利用したり、過去の傾向を外挿したりする必要が生じる。多くの要因は関連しており、予測は社会・経済的要因の傾向と矛盾してはならない(以下の3.4.4参照)。温室効果ガスの濃度もまた変化するが、この点も気候と常に結び付いている(ここでは不変と仮定している)。

3.4.4 気候変化が生じないと仮定した場合の社会・経済的傾向の予測

地球規模の気候変化は、社会・経済的な観点によるものよりも相対的に長い期間に渡って予測が行なわれる。たとえ気候変化が生じないと仮定しても、その期間を通じて経済や社会は変化する。分析期間を通じて、気候変化を伴わない社会・経済的条件における傾向を確定するための最も困難な側面は、重大な影響を与える将来の資源の需要予測である。価格、技術、人口の変化などに関心を払わず、過去の傾向を単純に外挿すると、測定すべき影響に対して、不正確な基礎を与えることになる。

これらの変動のあるものについては、計画目的で必要となるため公的な予測が存在する。その時間範囲は、数年(例;経済成長、失業率)から数十年(例;都市化、工業化、農業生産)、さらには一世紀またはそれ以上(例;人口)になるものまで広がっている。このような予測で信頼しうる資料としては、国連(例;United Nations、1991)、経済協力開発機構(例;OECD、1990)、世界銀行(例;World Bank、1990)、国際通貨基金、及び各国政府

によるものがあげられよう。

都市化は、多くの途上国で深刻な問題となっている。都市の膨張は、非計画的であることが多く、洪水や地すべりのように気候に関連した影響について、人々を重大な被害にさらす危険を増す。さらに、都市化は世界の全地域で局地的な気候を変化させることがわかっており、このため気候学上の代表的観測地点に影響が及び、影響評価を間違った結果に導く恐れが生じる。したがって、都市化の傾向とデータの質については、十分に確認し、予測を行なうべきであろう。

その他の傾向については、より見積りが困難である。例えば、技術は確実に発展するが、その性格、時期および影響を予測するのはほぼ不可能である。分野によっては、技術の効果に起因する過去の影響の傾向を明かにすることは可能である(例;健康や、作物の収量に関して)。このようなケースでは、資源の生産性の過去の傾向を調査したり、開発中の特定技術やその採用率に関する専門家の判断を求めたり、これらを組み合わせることなどによって技術の変化を要因に分割することができる。

3.4.5 気候の将来予測

気候変化の影響評価について実験を行なうためには、まずはじめに、気候それ自体の変化に関する定量的表現がなければならない。しかし、将来の気候に関して信頼のおける予測を提供する手法は未だ存在しない。そのかわりとして、将来の気候をもっともらしく叙述することが慣例となっている。これらは、“気候シナリオ”として参照されるものであり、次のような気候データを提供するために選択される。すなわち、

*空間的に比較できる、つまり、一つの地域における変化が他の地域や地球規模の変化と物理的に整合がとれている。

*相互の一貫性をもつ、すなわち、物理的に説明しうる異なる変数における変化の組み合わせからなりたつ。

*利用がしやすく、推論が容易である。

*影響モデルに対する入力に適している。

将来の気候シナリオには4つの基本的なタイプがある。すなわち、機器測定にもとづいた歴史的シナリオ、古気候による類推シナリオ、任意調整、大循環モデルによるシナリオである。

(1)機器測定にもとづいた歴史的シナリオ

シナリオ開発のための気候学的データとして確かな情報源は、測定機器による過去の記

録である。これらは、空間的に比較可能で相互に矛盾しないことが知られている。その根拠は、実際の観測によること、比較的最近年のものは、世界中各地に合理的にはりめぐらされたネットワークのデータが利用できることにある。このようなシナリオは、以下の点に基礎をおく。すなわち、

*歴史的-気象異常は、重大な短期的影響をもたらす気象異常(例えば、干ばつ、洪水、寒波)に注目する。将来の気候変化は、このような事象の頻度を変化させることを意味する。測定機器による記録から、異常気象の観測された各年、または一定期間が選択される。このような考え方を拡張して、"計画的シナリオ"を選択することもできる。つまり、最も極端な事象ではなく、十分な影響力を持ち注目すべき頻度で生じる事象(例えば、十年に一度の渇水)で表現するのである。こういったシナリオにとって、気候データは、影響実験に利用するため、通常は、過去の選択された期間から直接に採用される(例; Parry and Carter、1988)。

*歴史的-類推は、温室効果ガスによってもたらされる温暖化を類推するものとして、過去の地球規模の温暖期に注目する。このようなシナリオは、通常過去の温暖期と寒期における地球規模の気温に基づいて設定され、これは、両期間における大気圧や、気温、降水量(地球規模の歴史的データが利用できる場合)の差異の地域的組み合わせからなる。シナリオは、一般に気候変数の異常値を地域別に地図化、またはグリッド化したもので構成される。それらは、研究地域に内挿され、影響実験に利用するため研究地域のベースとなる値に加算される(例; Lough et al.、1983)。

*歴史的-対比は、類似的アプローチを変化させたものであり、地表面の大気温度と同時期の局地的な気候変数の歴史的記録における線型的相関を算出する。そのため、地球規模の温度の変化を与えることによって、このような相関関係から局地的な気候の変化を推定することが可能となる。この技法は、温暖期の類推的アプローチと対照的に、測定機器による記録の全てを利用する。この類推的アプローチは、記録期間のうち特定の期間に属するものを採用し、この技法によって検出される気候変数間の、より長期間にわたる相関を見いだすものである。ここでは、研究地域の気候シナリオは、将来の地球規模の気候変化に従って、シミュレートされるか専門知見にもとづいて定義される(例; Vinnikov and Groisman、1979)。

*循環-パターンは、影響モデルへの入力データが通例のシナリオからは提供されない場合において設計されるものである(例; 大気汚染研究に関する風の場合)。このアプローチはまた、過去の地球平均気温と地域的な大気循環パターンとの線型的相関を利用する。そして、各シーズンは、循環形式を持ち、温暖期との相関が見いだされるものと共通点のある循環パターンを持つ歴史的記録として認められる。各シーズンから得られる詳細なデータは、直接影響実験に用いられる。

測定機器によるシナリオの利用に関連して、多数の困難な問題が存在する。

*これらのシナリオは、過去の1世紀間の温度変化に基づいているが、これは将来に予測される変化よりも小さい。したがって、過去の変動範囲外に適用できるかどうか疑わしい。さらに、将来の変化速度は過去の速度より、かなり大きいと予測されている。

*過去における地球規模の気温の変動は、将来の温室効果ガスが気温にもたらす変化とは異なる要因から生じている。

*将来において、気温の変化と他の気候変数の変化の相関関係は、過去に生じたものや過去に繰り返された変動とは異なるであろう。

(2)古気候による類推シナリオ

古気候によるシナリオは、化石を根拠として再現された過去の気候に基づいている。ある地域における過去の気温と湿度関係の特徴は（たいていは季節単位の精度である）、違うタイプの証拠収集に基づいて推測されることもたびたびある。日付の確定方法が有効であり、空間的に証拠が十分そろえば過去の特定期間について地図を作ることができる。

将来の気候の温暖化という観点からみると、過去の温暖期に関する古気候シナリオは、将来起こりうる気候に類似したものとして、幾つかの気候影響評価研究で採用されてきた。この方法は、特に旧ソ連において用いられ北半球の急速な温暖化条件に匹敵するものとして、3つの期間が選択されている(Budyko、1989;IPCC、1990年b)。すなわち、北半球の平均気温が今日より約1℃高かったとされる第4期中期(B.P.5-6000)、今日よりも、気温が約2℃高かったとされる最後の間氷期(B.P.125000)、気温が約3-4℃高かったとされる第3期(B.P.3-4百万年)がこれにあたる。

これらのシナリオとしての利用に加えて、大循環モデル(以下を参照)の確認のためにも用いられる。氷期と間氷期の物理的に考えられる発生メカニズムに関しては、様々な理論が存在し、モデルシミュレーションによって検証し、再構築された古気候とモデルの計算結果を比較することもできる。

基礎となる証拠が十分質の高いものであれば、古気候シナリオは、時間的・空間的に矛盾なく過去の気候を適切に表現するものとなろう。さらに、測定機器データにもとづいたシナリオよりも有利なのは、過去一世紀に経験したものより地球的規模の温暖化のレベルが高く、来世紀に予測される温暖化の規模によりよく類似しているという点である。

古気候シナリオは、一般に地図化された季節的気候から構成されている。研究地域のシナリオの値は、地図から読み取り直接影響実験に用いられるか、また、季節的に平均化されたベースライン値と比較され、その差がより高い精度のベースライン値に調整されるために用いられる。

将来の気候シナリオとして古気候を用いるには、幾つかの重大な制約条件がある。すな

わち、

*気候システムの境界条件(例;海面水位、氷の体積、表土)は、過去と今日において同様でない。このため、例えば放射強制力が同じでも、気候反応は過去と将来は異なるであろう。

*おそらく、過去の温暖期は将来の温室効果ガスとは異なる強制要因によって生じたものである(例;軌道変化)。

*古気候による気候の再現は、その質について多大な不確実性が存在する。地理的包括性がなく、古気候が基礎をおいている証拠が保存される良好な気候的条件が偏っていることもありうるし、資料の年代確定が(特に、より時代が遡ると)正確でないかもしれない。

*これは、また過去に優勢であった平均的(多くは季節のみ)条件を表している。そのため、気候の変動性や異常気象の頻度に関して確固たる情報がもたらされることはまれである。

(3)任意調整

将来の気候を明かにする簡単な手法は、ベースラインの気候を、任意のやり方となるのは避けられないが、システムティックに調整するものである。調整とは、例えば、ベースラインの気候と比較して、年平均気温の変化を ± 1 、 2 、 3°C ...などとしたり、年降水量の変化を ± 5 、 10 、 15% ...とする方法である。調整は、独立または組み合わせのもとに行なわれる。

このような調整のタイプは、影響モデルの頑健性をテストしたり、気候変動の感度を研究するために用いられたりする(3.3参照)。この方法はまた、フィールドや研究室での気候変化実験を行なう際に、気候及び(または)大気組成を変化させる手法として好まれている。さらに、このアプローチは、より詳細な予測が欠けている時、将来の気候に関して専門家の推定を表すためにも有用である。

しかし、任意調整において最も価値があるのは、おそらくシナリオ研究を実施する前に用いられる診断手法としての機能である。このようにして次のような情報を得ることができる。すなわち、

*応答の閾値または不連続性はある規模と変化速度のもとで生じると考えられている。これは、応答の性質が変わるであろう変化のレベル(例;温暖化は植物の成長を促進するかもしれないが、高温は熱ストレスの原因となる)や、システムに対して重大な影響をもたらす反応(例;建築物に構造的な損害をもたらす可能性がある風速)を表すと言えよう。

*耐える気候変化-モデル化されたシステムが主な破壊的影響("臨界負荷"と呼ばれることもある)を伴わずに耐え得る気候変動の規模と変化速度を示す。このようなタイプの尺度は、将来の気候変化を一定範囲に収めるための、明確な目的や目標の定義を手助けするものとして、潜在的な政策的価値がある。

このアプローチの主な弱点は、変数の組み合わせが物理的にもっともらしく、矛盾がないよう調節されるとは限らないという点である。従って、このアプローチは、感度分析に限って用いられるのが正当であろう。

(4)大循環モデルによるシナリオ

大循環モデル(GCM)は、温室効果ガスの濃度増大が気候に対して将来にもたらす影響の算定に関して、今日に利用可能なものとしては、最も精密な手段である。大循環モデルは、物理的な法則に従い地球規模の気候システムに影響を与える主なメカニズムをシミュレートし、地球表面上の格子点網に関する気候変数値を与える。約10例のGCMから得られた結果がこれまでに報告されている(例; IPCC、1990年a参照)。

GCMは、地域レベルの信頼しうる気候変化予測を提供するという点では、未だ十分現実的でなく、地球規模レベルのモデルでさえ、算定結果にはかなりの不確実性が伴うのは避けられない。したがって、GCMの出力結果は、よくても将来に予測される気候条件の広いスケールでの傾向を示すものであって、予測とみなすべきではない。

GCMは、将来の気候の見積りのため2つのタイプの実験を実施するために用いられてきた。すなわち、平衡反応実験及び過渡的影響実験である。

実験の大多数は、大気中の二酸化炭素濃度の急激な増大(通常は2倍)に対する地球規模の気候平衡反応を評価するために実施されてきた。温室効果ガス(CO₂を含む)の濃度は連続的に増加し、近い将来には安定化しそうにないので、明かに、このような大気組成のステップ状の変化は非現実的である。さらに、地球規模の気候システムの別の部分では、熱的慣性が異なっているので、平衡に達する速度も違い、このようなシミュレーションでモデル化され複合された平衡条件に近づくことは決してない。これはまた、CO₂の増大と気候変化の影響を同時に算出することが困難であることを表す結果ともなっている。

最近の研究では、GCMに関してより現実的な実験を行なうこと、すなわち、気候応答の過渡的な強制力に対するシミュレーションに焦点がしばられてきている。このようなシミュレーションは、平衡-応答実験に対して有利な点が幾つかある。第1に、時間によって変化する温室効果ガスの濃度に関して、連続的(過渡的)変化を内在化させることによって、大気の摂動をより現実的に明確化していること。第2に、最近の大気モデルを力学的な海洋モデルを結合させたシミュレーションとして、海洋をより現実的に表現していること。最後に、過渡的シミュレーションは、気候変化の規模と同時に、影響実験に対して重要な速度に関する価値ある情報をもたらす。

以下に、シナリオをつくる際にGCMから得られる情報のタイプを示す(例として、McKenney and Rosenberg、1991参照のこと)。

*最近の温室効果ガス濃度を仮定した"コントロール"シミュレーションと、将来の濃度を仮定した"実験的"シミュレーションから得た結果。平衡-応答実験の場合には、コントロール状態とCO₂2倍平衡条件に関する複数年モデルシミュレーションから数値が得られる。過渡的-応答実験ではコントロール平衡条件と過渡的状态のモデルの実行結果による各年の数値が得られる。

*地球上の数百キロ間隔で特別に配置されたモデルのグリッド、地表面または地表面近くの気候変数に関する数値。

*大気温度、降水量(日平均)、雲量に関する数値。これらは通常影響研究に利用するために提供される。モデルによっては放射量、風速、水蒸気圧のデータが利用できる。

*月間平均のデータ。ある気候変数に関する一日または、時間値が月統計値の算定に用いられるが、シミュレーション全期間内の何年かについてデータが蓄積される。

GCMに基づくシナリオ構築のためには、以下のような手順が考えられる。すなわち、

*平衡条件の変化:モデル化されたコントロール条件とCO₂2倍の条件下における気候の変化を、各グリッドについて計算する。これを実施するための手法は2つある。すなわち、各条件下の数値について差(例;CO₂2倍条件－コントロール)、または比(例;CO₂2倍条件／コントロール)を計算することによる。通常、温度変化の考察に関しては前者の方法が、降水量変化に関しては後者の方法が選ばれる。もし比が温度に対して適用されるとすれば、データは相対的な摂氏温度℃から絶対温度K(0℃=273.15K)へ変換されるべきである。

*ベースラインへの基準化:GCMの結果は、現在に対しても(コントロールの計算によれば)、地域的な気候の見積りに関して十分な精度や信頼度を持たないので、ベースラインのデータとしては、現在の気候が用いられるのが普通である。ベースラインは、上記で述べたように差を加えたり、比を乗じることによって、CO₂2倍時気候を表すように調整される。この方法に関する主な欠点は、コントロールとCO₂2倍の条件下のモデルシミュレーションにおける気候の変化が観測されたベースラインの気候に当てはめられるという仮定をおいていることにある。

*過渡的变化:過渡的シナリオの作成手順は、多少異なっている。これは、各年の過渡的なモデル結果を、ベースラインの気候(これ自体に各年度に観測された数値からなりたっている)に対して調整するために適用するのが困難なことによる。一つの方法としては、過渡的計算の結果において、移動平均を用いて月平均データを平滑化し、年度間の変動性を除外することである。このようにすれば、差と比を各グリッドにおいて、これらの数値とコントロールの数値間で計算することが可能となる。次に、これらの値が実験期間がベースライン期間よりも長期に渡る場合、ベースラインの繰り返しによって、年一年間値に基礎をおくベースラインの数値を調整するために用いられる。この手法の基礎的な仮定は、将来の気候下での年一年の変動性はベースラインの条件から変化しないということである。

これを避けるためには、ベースラインの現実性を失うことになるが、ベースライン気候を長期間わたって平均化したものを用い、その年度に調整したものを過渡的実行の結果から直接当てはめることになろう。

***欠測のある変数:** 影響アセスメントに重要なある気候変数について、変化に関する情報が不足している場合、これらの変数の数値は、ベースラインのレベルに固定されることが多い。現在の気候のもとで、変数の間に強い相関がある場合には、このような手法は注意して採用されねばならない。代替案として、このような統計的相関を予測される変数の変化に従って欠測変数を調整することもありうる。

***時間的分解能:** 気候変数に対してなされる月単位の調整は、一月以内のより短いデータ間隔にひとしく適用可能であると仮定されるのが普通である。年々の気候変数について情報が不足している場合には、さらに、気候シナリオのもとでもベースライン期間で同様な仮定がなされる。最近になって、一部のGCMのシミュレーションでは、時間単位のデータが利用できるという手法が報告されている。このようなデータの統計的特性は、影響モデルの入力に適切な確率的な気象データセットを生成するために用いうる(3.4.1参照)。

***小グリッドスケールのデータ:** 地域的な影響評価に対してGCMの予測結果を適用するための主な問題の一つは、予測値の空間的スケールが粗いことである。GCMのデータで、水平面上で利用できるグリッドポイントの解像度はよくても200キロメートルである。より細かな小グリッドスケールのデータで、GCMのデータをもとにしたシナリオを開発するために、次のような手法が採用されている。

(1)研究地域のベースラインは、グリッドボックスの中心に最も近いシナリオ値と組み合わせられる。(例; Bultot et al.、1988; Croley、1990)。この方法は、相互に非常に近接するが異なるグリッドボックスに属する地点が、非常に類似したベースラインの気候的特徴を示しているにもかかわらず、全く違う気候シナリオに属するという欠点がある。

(2) 気象異常のシナリオは目的に応じて内挿され、ベースラインの値 (ある地点、または内挿されている)は、内挿されたシナリオの数値と組み合わせられる(例; Parry and Carter、1988; Cohen、1991)。このやり方は、(1)の持つ問題は克服しているが、推定値に誤差をもたらす。

(3)局地的スケールと、GCMのグリッドボックスのスケールでの観測される気候との間に統計的相関を確立する。この関係は、GCMのグリッドボックスの値からベースラインの気候を局地的に調整して算出するために用いられる(例; Wilks、1988)。この方法の弱点は、将来の気候のもとでも、小グリッドスケールの空間的変動性は変らないと仮定していることである。

(4)幾つかのシナリオ(例; GCMs、歴史的シナリオ)から得られるベースラインと気象異常

場が、動力的/経験的理由づけ(例;Pearman、1988)や、平均化(例;Department of the Environment、1991)によって一つのシナリオとして内挿されたり、結合されたりする。しかしながら、定義によると、このタイプの合成シナリオは、異なった仮定や地域的パラメータ推定を行なっているシナリオを情報源としているため、地球規模のスケールでは概して現実的でない。

以上に加えて、最近では地域"細分メッシュ"気候モデルに関する実験がなされ、ここでは、GCMの結果を入力してより高い空間的分解能で実行される。

地域影響研究のために気候変化シナリオを定めるためにGCMを利用するという考え方には、地域スケールでの正確なシミュレーションを妨げる不確実性に関して幾つかの反論がある。しかしながら、GCMにもとづいたシナリオは、今世紀に経験したことの無い気候を表現する客観的で先見性のあるデータソースである。これらのシナリオは、種々の施設や資源システムの設計基準を上回ることになるだろう。それゆえ、直接的または間接的にGCMの結果にもとづいた種々のシナリオのもとで、地域的観点からの不確実性について示唆を得るために、このようなシステムの感度テストを始めるのが賢明であろう(Cohen、1990)。

*モデルの選択。近年は多数のGCMシミュレーションが行なわれており、影響評価に用いるため、適切なものを選択するのは容易でない。概して、より最近のシミュレーションは、より新しい知見にもとづいているため、より信頼度が増し、以前のモデル結果よりも空間的な分解能が高くなっている。選択の前に、最近のGCMに関するレビュー調査を特に勧めておく。米国のコロラド州ボルダーにある国立大気研究センターは、異なるモデル化グループから得たGCMのデータに関する情報交換活動を行なっている。

*地球規模の予測に対するGCM結果のスケーリング。代替的な温室効果ガスの排出シナリオ、将来の地球規模の温度に関する影響の見積りについては、GCMよりもむしろ単純な気候モデルを用いるのが一般的である(IPCC、1990年a)。これらのシナリオを影響研究に利用する価値のあるものとすることは、政策手段として魅力的である。しかし、地球規模の見積りしかなされていないため、直接地域アセスメントに利用することは不可能である。この問題を克服する方法として、地球規模の見積りと関連させてGCMの情報を利用することである。つまり、GCMによる地域変化の見積りは、地球温度変化のGCMによる見積りと簡単なシナリオ(例えば、CO₂2倍時)から得られる見積りとの比率に応じて定めるのである。

3.4.6 気候変化に伴う環境の傾向予測

予測は、個々の環境変数または研究対象となる特性についてなされる必要があり、気候変化の生じない状態における環境的傾向の記述に含まれるべきである。こういった予測は、研究のため選択された気候予測と生物物理学的モデルを用いて行なわれる(詳細は3.2.2参照)。気候的要因によらない環境条件の変化は全て、気候変化を生じないと仮定した場合

の環境的傾向を定める際にすでに組み込まれているので、ここで組み込まれるべき傾向の唯一の変化は、気候変化のみに起因している。

将来の気候変化は、3.4.3で概要を述べた環境的傾向を部分的に改変させるものと予想される。さらに、気候それ自体の変化と直接関連して新たな環境変化が加わる可能性がある。評価において一般に必要な2つの要因は、温室効果ガス濃度と海面上昇である。

温室効果ガス濃度の予測は、第1に気候の放射強制力、第2に成層圏オゾンの減少(例;CFCs)、第3に植物の反応(例;CO₂と対流圏オゾン)に関する影響評価に対して重要である。しかし、こういった問題に応用する場合には、予測される気候変化と矛盾しないようにするべきである(前述の3.4.2参照)。

海面上昇は、気候温暖化のもとで生じる主要な影響の一つである。温暖化の速度、海水の膨張、氷床と氷河の融解のような地球規模の要因は、全て海面上昇に関係する。けれども、沿岸域の地盤沈下といった局地的な条件も、世界的な海面上昇の局地性と共に、地域影響を考慮するべきである。大半のアセスメントでは、研究地域の海面上昇に対する脆弱性は明かであろう(例;沿岸域の低地帯)。しかし、内陸に位置する場合でも、影響を受ける場合もある(例えば、地下水への塩水の侵入などによる)。将来の海面上昇の規模は、未だ議論されているが、IPCC報告の推定が、シナリオ作成の基礎となる知見として役立つであろう(IPCC、1990年a)。再度繰り返すが、これらは、予測される気候変化と矛盾せず、時間的にも地域的にも変動することに留意すべきである。

気候によって直接に影響を受ける他の要因には、河川流量、土壌特性、浸食、水質などがある。これらの影響を予測するためには、それ自体の十分なアセスメントが必要であるか、または、統合的アセスメントの枠組の中に相互に作用する要素として取り込まれるべきであろう。

3.4.7 気候変化に伴う社会-経済的傾向の予測

気候変化のみに起因する環境的条件の変化は、研究期間中の気候変化に伴う社会-経済的条件における変動を予測する経済モデルへ入力するために役立つ。分析期間中の社会-経済的条件における他のすべての変動は、非気候的要因に帰すことができ、気候変化を生じないと仮定した場合の社会-経済的変化の算定も組み込まれているべきであろう。

曝露ユニットに影響を及ぼす社会-経済的要因は、それ自身が気候変化について感度が高いと思われるので、気候の影響はその予測の中に組み込まれるべきであろう。場合によっては、このようなことは実行できず(気候変化が人口の増大に与える影響は知られていない)、気候変化の生じない場合に見積もられた傾向で間に合わせることができよう(3.4.4参照)。別の場合には、予測を気候変化に伴って生じうる影響に合わせて調整することもできよう(例;将来の冬期の電力需要は気候温暖化にともなって相対的に低下する可能性がある)。