

CO₂ 問題

第15期会長 近藤 次郎

二酸化炭素の増加

この頃は新聞に二酸化炭素(炭酸ガス)濃度の話がよく出ている。大気の中に炭酸ガスが約0.03%ある。すなわち300ppmくらいである。これは天然にあるもので、特に多いわけでも、少ないわけでもない。

動物は呼吸をする時、酸素を吸って炭酸ガスを吐く。植物は反対に炭酸ガスを吸って酸素を出す。これは小学校で習った事柄である。この炭酸

ガス濃度は地球上で長いあいだバランスを保っていて、その濃度は変化しなかった。

しかるに、図1に示すようにCO₂が過去20年のあいだに一定の割合で増加している。これはカリフォルニア大学の Keeling が1976年に発表した世界的に有名なデータである。炭酸ガスの濃度をこのように長期間にわたって継続して観測した例はあまりない。

炭酸ガスは汚染でないので、環境庁でも測定していない。これは測定がむずかしいもので、その濃度を正確に測定するのは容易ではない。南極の昭和基地でも炭酸ガスを測っているが、前年度よ

昭和59年4月26日 於：学士会館

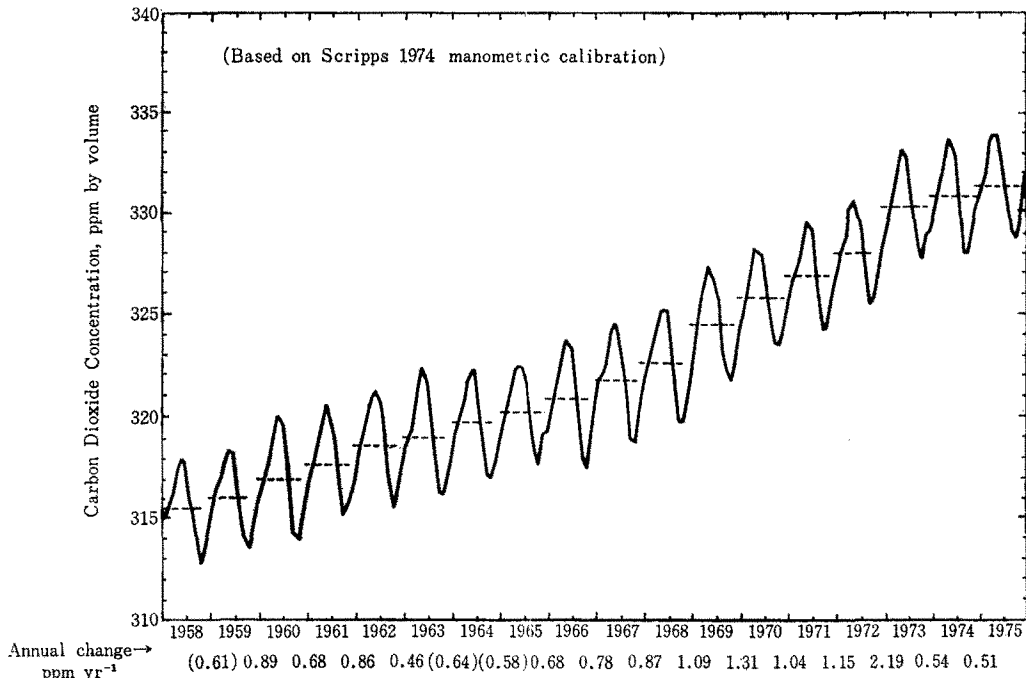


図1 CO₂濃度(マウナロア)

り増えたという相対的な値はわかるが、絶対的な値は測定できていない。

図1を見てわかるのは、山と谷がありながら全体的に増加していることである。この観測場所はハワイ島のマウナロアというところである。この島は富士山が五合目まで海水に浸ったような格好の火山島で、大きな海岸線からすぐ高い山がそそり立っている。この山の標高3400mのところのマウナロアの観測所がある。マウナロア火山はつい最近爆発し、溶岩類がどんどん流れていて観光客が多いということである。観測所の写真を見ると火山灰やがれきがあり、富士山ほど急ではなく、頂上付近が割合平坦である。また樹木がほとんど見当たらない。

植物の影響

さて、この図の曲線の凹凸は何を意味するのであろうか。毎日測定しているのであるが、1カ月の平均値をまとめて1点で示してある。この値が高くなったり、低くなったりしているが、高いところは冬場に相当する。低い谷のところは7~8月頃である。つまり冬季は炭酸ガス濃度が比較的高い。夏季は反対に低い。これは植物の影響である。

葉の裏には気孔がある。1mm平方の中に気孔が200~400くらいあって開閉している。夜は閉じ、昼は開く。そこから空気が入る。そのうえ、特に炭酸ガスを吸収して光のエネルギーによって植物の体内で蛋白質を作っている。植物はそれによって成長していく。これが光合成である。光合成は葉がたくさんある夏は盛んであるから炭酸ガスをたくさん吸収する。したがって炭酸ガス濃度が夏には低くなる。冬は反対に葉が落ちるので濃度が高くなる。

近くに森がある所で測定しているのであろうと、はじめは思っていたが、写真を取りよせると1000mから上はぜんぜん木が生えていない。少なくともすぐ近くの木の影響ではない。まして

やたくさんの観光客が集まって、そのために炭酸ガスが増えたということでもない。これは北半球の大気の全体の特徴を写しているものである。このようにして北半球においては炭酸ガス濃度が冬場は高く、夏場は低くなる。そして全般的には次第に炭酸ガス濃度が増えつづけている。1960年代は炭酸ガスは1年間に1ppm(100万分の1)の割合で増えていたが、最近では毎年1.5ppmから2ppmの勢いで増えつつある。

シナリオ

これは1980年、アメリカ合衆国の「西暦2000年の地球環境」という特別報告書でも指摘されている。その中に書いてあるシナリオをPDPC(過程決定計画図法)を用いて表現したのが図2である。

1980年には人口が約45億、2000年になると15億増えて60億、正確には63億5000万になる。そのように人間が増えると当然エネルギー需要が増える。途上国は地下資源がないので森を切って薪炭燃料を使う。これが森林喪失の原因である。開発国では人口が増えると経済発展を加速しなければならぬので石油、石炭をこれまで以上にたくさん使うようになる。

このような薪炭、石油、石炭を燃やすと空気中の炭酸ガス濃度が増加する。炭酸ガス濃度が増加すると温室効果によって気温が上昇する。炭酸ガスが大気の中にたくさんできると、ちょうど温室の中と同じように太陽からの直射日光、これは波長の低いほうの側に直射日光があたる。それで地球が暖められる。地球をブラック・ボディとして考えると、それから輻射をする。太陽エネルギーの一部を地球がキャッチして、またいくらか宇宙空間へ投げ返し、それで熱バランスが成立して地球の気温が保たれている。それが変わってきて、受け取る側は炭酸ガスの中では短波長の紫外線みたいな光は通過してくる。ところが、地球から放射して宇宙空間へ逃げていく輻射の赤外線は炭酸ガスがあると捕捉される。熱の収入と支出のあい

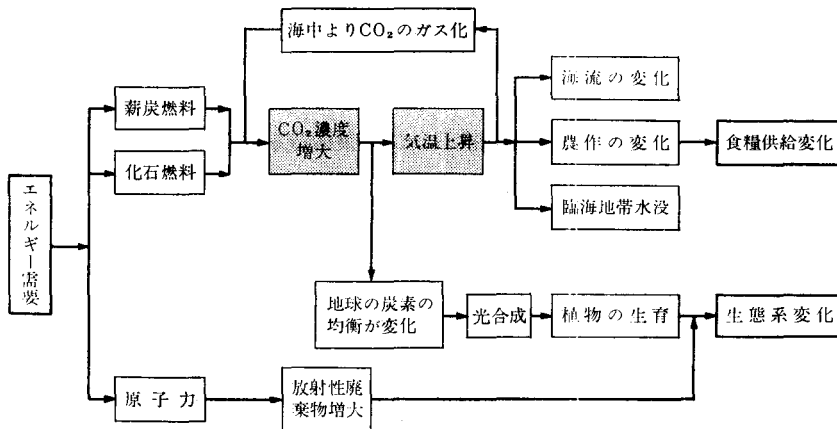


図2 シナリオ(PDPC)

だのバランスが崩れて、地球の温度が高くなっていく。

標準で300ppm、現在では340~350ppmになっているが、それが600ppmになると地球上で温度が平均で2度上がる。いまのままでいくと20年後の21世紀にはそのようになる。そのため海の温度が上がると海中から溶けていた炭酸ガスが出てくる。そこで正のフィードバックがかかって、炭酸ガスが増大する方向に加速される。

気温が変わると海流に変化がおこる。雨の地域が変わってくる。米国で気にしているのはシカゴ付近の中部アメリカの農作地帯が乾燥して、小麦粉がとれなくなってしまう。しかるにソ連のほうは雨が降り、温暖になって、シベリヤが世界の食糧庫になる。これは地球の気象モデルの計算結果である。

さらに困ったことには、北極や南極の温度が10度くらい高くなる。それは地球の回転軸が太陽に向かって傾いているからである。大気圏を通る光の径路が斜めになっているので、極の所で長くなる。そのために温室効果が強調される。

また雪や氷河が溶け出すと下の岩肌が見えてくる。氷河は白いから夏季の服装のように白色反射で太陽エネルギーを反射する。ところがこれが黒くなると冬服を着ている感じになって大地が暖まる。土地が暖まるとまた氷が溶ける。これも正の

フィードバックがかかり
どんどん氷が溶けていく
ことになる。

アメリカのエネルギー
省(DOE)の計算による
と海面の高さが世界中で
2m上がるといっている。

(先日、新聞でまちがえ
て15m上がると書いてあ
ったが、15mも上がった
ら関東平野がほとんど水
に浸って住むところがな

くなる。) エネルギー省の試算によると、アメリカの東海岸と西海岸とではおよそ住宅が水没して1100万人の家が失われるそうである。

このようなことがおこると地球の中の炭素のバランスが変化して、海中の海藻や陸上の植物の生育に大きな影響を与えるであろう。太古の昔、シダ類が地球上を覆っていた時代があった。その頃は地球上の炭酸ガスが多かったといわれているがそのような状態になり、巨竜が出現したりして結局は、生態系全体に変化がおこるのであるといわれている。しかしエネルギー需要があると途上国で薪炭を燃焼することは避けられない。化石燃料だけではなく、先進国では原子力が使われるが、原子力を使うと放射性廃棄物が増大し、その影響で再び生態系が変化するのである。

これに対して何とか対策を立てなければならぬと多くの識者は訴えている。特にアメリカ合衆国においては、食糧の生産事情が変わってくるといことに対して、非常に大きな危惧の念をもっている。

気象庁大気局の Kellog 博士などはこの説を唱えているので有名である。筆者は1983年11月にシカゴで環境の国際会議があり、彼と討論した。以下にその要旨を紹介しよう。

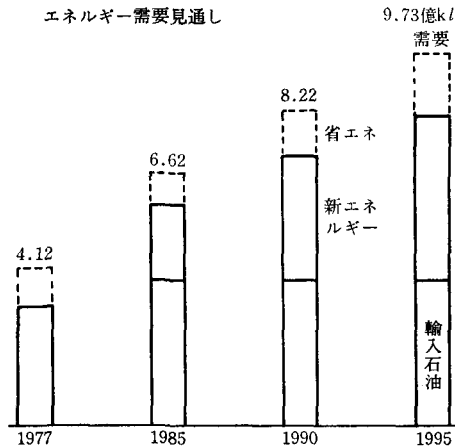


図3 エネルギー需要見通し

日本の経験

わが日本の経験，ノウハウを開発途上国を含めて一般の人たちに技術移転 (technology transfer) することの必要性がある。

図3は通産省で行なった，経済成長の予測にもとづく必要エネルギーの合計（これは石油換算で計算してある）の予測である。

経済成長を考えると，どう考えてみてもエネルギー需要は増える。それに対してまず省エネルギーの努力をする。省エネの努力をすることによって大きな比率をカットすることができる。また原子力を含めたエネルギーの転換によって輸入石油量の消費はほとんど変わらずに経済成長を達成することができる。

事実わが国は1970年代にはGNPに対する輸入石油量の弾力性は2.4であった。しかし1980年代になってからこの省エネ効果，エネルギーの内容の転換および産業構造を変えたことによってわが国のエネルギー事情は変わり，原油に対するGNPの弾力性は現在0となった。

図4はわが国のエネルギー政策を示している。1977年と1990年，2000年ではだいぶ内容が変わっていることがわかる。1977年日本はたくさんの石油を消費していた。つまりエネルギーの4分の3までは石油であった。それに対し2000年の計画では石油の占める割合は4分の1を下回ることになっていくであろうと予想している。そして新エネルギーとして地熱をはじめ，水力，天然ガスが増えている。そこで世界の大気に与える炭酸ガスに対する日本の責任度は将来は低減することになる。このようなエネルギー政策が非常に大事なことである。

次に，たび重なるオイルショックによってエネルギー多消費型の産業が知的集約型のそれに転換したために日本の原油輸入量は80年代には図5のように減少してきた。83年度は6月までであるが，これを2倍にしても，日本がいかに石油を消費をしないように努力しているか，その分だけ省エネルギー，新エネルギー，代替エネルギーと石油の消費を抑えているかがわかる。

日本ではほとんど薪炭を燃やすということはない。開発途上国に対しては，たとえば風力発電

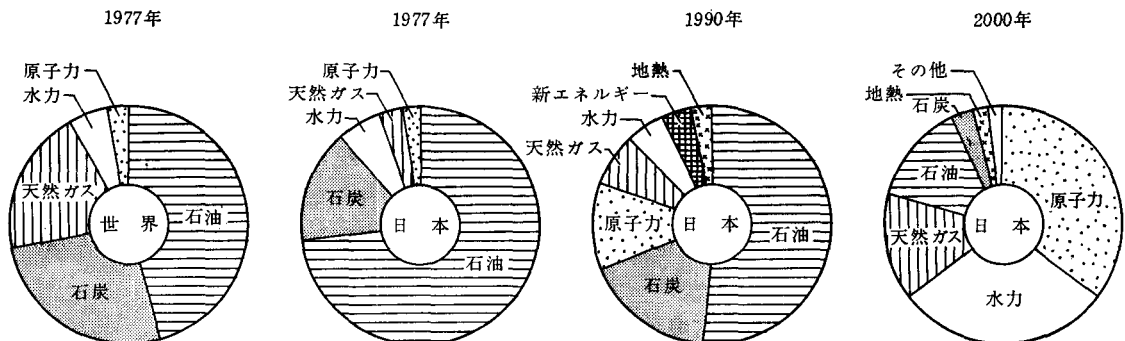


図4 エネルギー源

や地熱発電であるとか、場合によっては石炭に限るとか、このような技術移転をすることによって彼らが森の木を切って、暖房や炊事に使うということをやめるようにすることができる。エネルギーの面で日本のノウハウが先進国に対しても、途上国に対しても益するところがある。

管理図法の応用

図6の下部はマウナロアのCO₂の濃度である。330ppmから340ppmへ上昇しつつある。その上がり下がりの変動の理由は、前述したように冬と夏における植物圏の影響の変化である。

品質管理で使うシェewart管理図(Shewhart chart), すなわち管理図法の方法を導入して、環境の監視を行なってはどうかという提案である。変動しながら次第次第に上がっていくような状況であるから、その変化が今までとちがった状態になってきていることをつい見過ごしてしまう。たとえ

ばそのうち夏季になればCO₂が下がると思っているうちに実はそうではなくて、大きな変化がおこっている可能性がある。それに対して監視を強め早期に発見して適切な対策を行なわなければならない。

そこで前年の1月と今年の1月のCO₂の差をとってみることである。2月になったらその時のCO₂に対して昨年の2月の数字をとって差を求める。そうすると季節的变化はほとんど除去することができる。もちろん12カ月移動平均という方法があるが、12カ月移動平均では対策が遅くなりすぎる心配がある。1975年以降について点を書き2

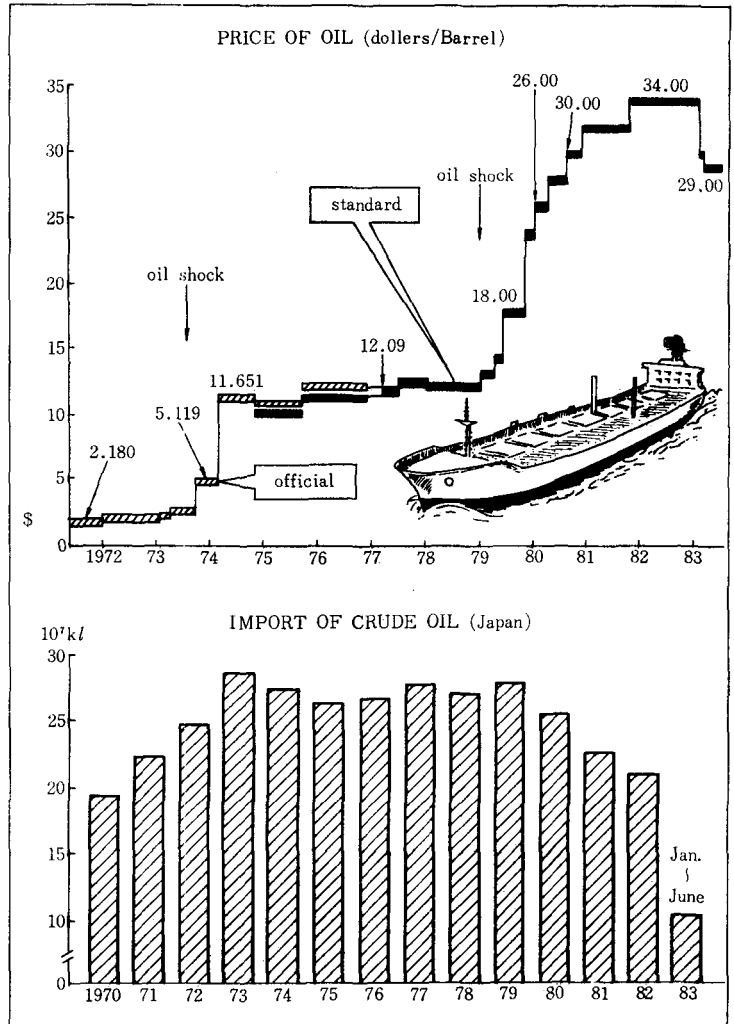


図5 わが国の原油消費

シグマで管理限界線を引いてある。

ときには、3シグマ法を使うのは適当でない。そこで2シグマにしてみると、管理外(out of control)になっているところが図6では上と下と1点ずつ出ている。このようなことがおこったらさらに注意して精密な測定を行なう。そのようなことを実行するならば地球の破滅がくることを事前に防止することができるであろう。このようにORの手法、QCの手法は環境問題の解決にも役に立っているのである。

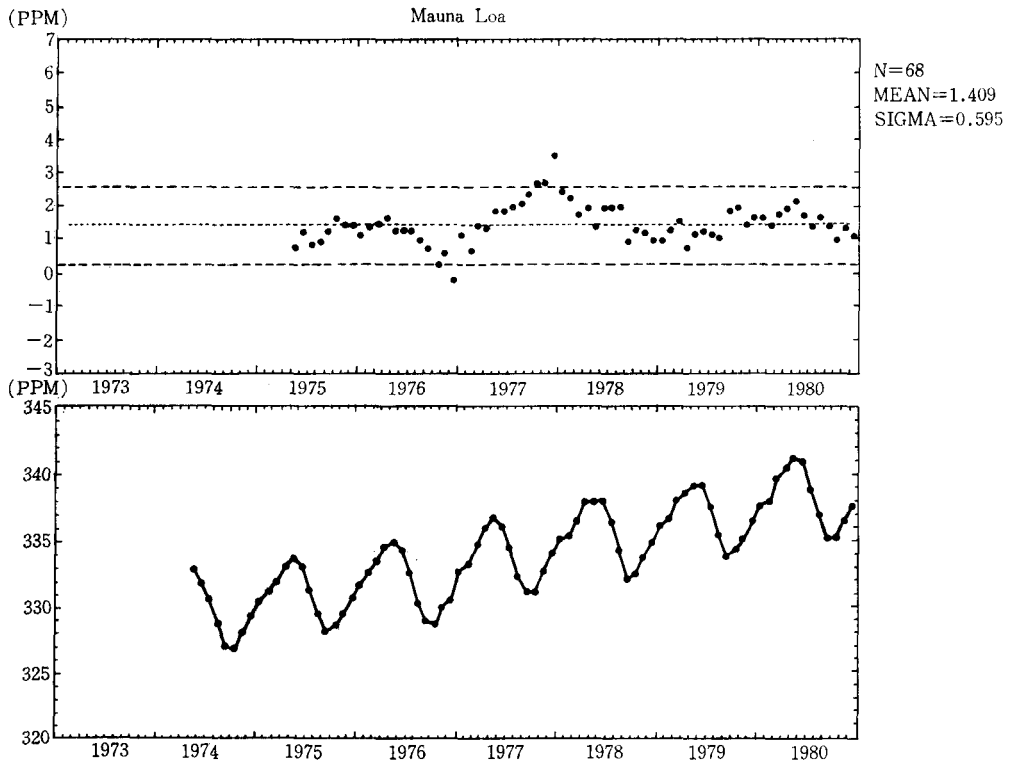


図 6 管理図

寒いのはなぜか

今年の冬は寒かった。どのように説明すればよいかという質問がでると思う。これはいろいろと原因がある。1つは一昨年(1977)の3月、メキシコのエルチチョンという火山が爆発した。そしてその火山灰が成層圏に滞留したことによる。レーザーで観測すると、地上から14,000mから18,000mの成層圏の中にいわゆるエアロゾルが漂っているのがはっきりと測定できる。この火山灰が、太陽の光が地球の表面に届く前に反射してはね返してしまうため、地表に届く太陽光が弱くなってしまう。これが1つの理由である。

もう1つは、新聞にも出ているが、エルニーヨの現象で海流の変化がおこったり、その影響で寒くなったのである。

シナリオによる予測

ORでは、予測という問題が非常に大切であ

る。もしも予測が的確にできると確率論はほとんど必要なくなり、予防保全も完全にできるし、需要予測が正確であるならば在庫管理も苦労はしない。むずかしいのは不確実性の要素の多い中で何かの意思決定をしなければならない。これが本質的な困難で、ORはそのための多くの理論、方法を用意している。

複雑な未来予測となると、シナリオを作って予測する。ハーマン・カーン等の未来学は多くの人に受け入れやすいシナリオを作ることにある。「西暦2000年の地球環境」もそれである。古いところで有名なのは、1972年にローマ・クラブが発表した「成長の限界(limit of the growth)」がある。これには「現在のような石油の消費、資源の消費を続けるならば、西暦2050年から先に環境汚染がひどくなり人類の数が減ってくるであろう」と予測をしている。

シナリオから外れる確率

このような予測はそのまま信頼するには注意を要する。それにはまずシナリオを PDPC で表現して確率を計算すればよい。一応マルコフ的になっていると考えよう (図7)。A という状態から B₁, B₂ のどちらかの状態が実現する可能性がある。その遷移確率はそれぞれ 0.4 と 0.6 である。すると B₁, B₂ のおこる確率は 0.4 と 0.6 である。B₁ から C₁, C₂ という状態がおこりうる。その遷移確率は図7に示したとおりである。したがって C₁ がおこる確率は 0.4 と 0.7 の積であるから 0.28 である。

B₂ からは C₂, C₃, C₄ という3つのケースがある。ここで点線になっているのは B₁ から出たものと区別するため、0.1, 0.2, 0.4 という確率の総和が1ではないということに注意したのである。すなわちこの図から何か抜けている。このようにして C₂ という状態がおこるのは B₁ から、B₂ からおこりうるから確率は 0.18 ということになる。C₃, C₄ は B₂ だけからであるのでそれぞれ確率を図のように計算することができる。C₁, C₂ の場合には D₁ がおこり、C₃, C₄ には D₂ がおこるとすると、最終的な確率は 0.37 と 0.30 ということになり、この図から落ちている場合があるというのである。この図から外れる確率は 0.33 である。図2の炭酸ガス濃度増加に対する地球環境の変化のシナリオはまさにこのような例の1つである。このシナリオのとおりになるならば、警戒しなければならない。

これは米国ならずとも非常に重大な問題である。このような予測の話を知るとつい作者を信頼し、本当にそのようになっていくかのような気がしてくる。実験室で炭酸ガスをガラス容器に密封し光線を通すと温室効果がたしかに実験できる。大気中の炭酸ガスが増えると気温が上がるというのはたしからしい。そのことを示すデータもあ

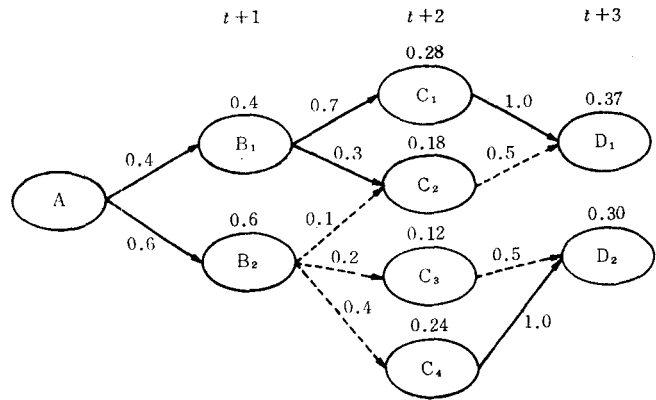


図7 確率計算

る。しかしそれ以外の要因によって大気が冷えるということもありうる。これは図2からは抜けている。この図から落ちているケースは非常にたくさんあるはずである。そこで確率を PDPC (シナリオ) の中に入れていくと、その人が言っている話がどのくらい実現性があるかということを実験的に知ることができる。実験室の中で実験することができる場合もあるが、いわゆる主観的確率によって推定しなければならないことが多い。

しかしそれにもかかわらずこのような作業をしているということは、本当に炭酸ガス濃度が増えている状況を考えると、これは20年先のことであるが、どんな結果が出てくるかを数量的に予測し、われわれがそれに対して適切な対策を立てるという意味において役に立つと思う。

次号予告

特集 マネジメントシステムとOR

日本の組織風土と合理的思考	松田武彦
管理過程モデルと経営科学	秋葉 博
ライン中心型組織の提案	川瀬武志
ORのアイデンティティーを求めて	平野雅章・堀内正博
マネジメントシステムと情報技術	山田善靖
情報技術の実施理論的考察	太田敏澄