



平成10年度(第7回)ブループラネット賞
受賞者記念講演会

財団法人 旭硝子財団

THE ASAHI GLASS FOUNDATION

目次

受賞者紹介	
ミファイル・イ・ブディコ博士	1
記念講演	
「地球温暖化とそのゆくえ」.....	2
受賞者紹介	
デイビッド・R・ブラウワー氏	14
記念講演	
「地球環境の保全と企業活動　CPRを行動原則として」.....	15
ブループラネット賞	22
旭硝子財団の概要	24
役員・評議員	25

<制作スタッフ>

運営担当 (株)インターグループ
プロデュース (株)アイ・アール ジャパン

受賞者紹介

ミファイル・イ・ブディコ博士（ロシア）

Prof. Mikhail I. Budyko

ロシア国立水文学研究所気候変化研究部長

1920年1月20日生まれ（78歳）

受賞業績

『気候変動を定量的に解明する物理気候学を確立し、二酸化炭素の濃度上昇による地球温暖化や、核戦争による気候寒冷化を世界に先駆けて予測した業績』



略歴

1920 1月20日 ベラルーシ共和国ゴメリ市(旧ソ連邦)に生まれる
1928 サンクトペテルブルグ市(旧レニングラード市)に移住し、現在まで住む
1942 レニングラード・ポリテクニカル工科大学 物理学 卒業
科学修士(レニングラード・ポリテクニカル工科大学)
中央地球物理観象台研究員^(注1)(サンクトペテルブルグ市)
1951 理学博士(中央地球物理観象台)
1951 - 54 中央地球物理観象台副台長
1954 - 72 中央地球物理観象台長
1964 ソビエト科学アカデミー通信会員
1972 - 75 中央地球物理観象台物理気候部長
1975 - 国立水文学研究所気候変化研究部長(サンクトペテルブルグ市)
1992 ロシア科学アカデミー会員
(注1) 観象台:日本の気象研究所に相当

主な受賞歴

1958 レーニン科学賞
1972 ロシア地理学会Lithke記念金賞
1987 世界気象機関(WMO)金賞
1989 A・P・ビノグラトフ記念、ソ連科学アカデミー賞
1991 ロシア"知"学会第1回賞
1994 アメリカ地理学連合R. Horton記念金賞
1995 A・A・グリゴルエフ記念ロシア科学アカデミー賞

環境と密接な関係をもつ気候を定量的に究明する物理気候学は、1970年代以降飛躍的に進歩しましたが、その中核的な役割を担ったのが今年度の受賞者であるM・I・ブディコ博士です。

博士は1950年代のはじめから、地球気候を決める最も重要な因子である太陽エネルギーに基づいて、地球表面における熱収支を計算し、地球気候を定量的に研究することを試みました。まず、狭い地域におけるエネルギー収支を計算から求めて観測データと比較し検証しました。そして、全球的に収集した気象データを用いて地球全域へと熱収支計算を展開して、観測データとの整合性を確認したのです。

これら一連の研究を通じて、1956年に「地表面の熱収支」と題する著作を発表しました。それまでどちらかといえば定性的に取り扱われていた気候学を、より定量的な物理気候学へと変革したこの著作は、世界の気象・気候学界に衝撃を与えました。

そして、博士の指導の下に、1963年に完成した「熱収支世界地図」は、地球のエネルギーバランスのバイブルとして、その後の地球環境問題の解明に大いに貢献しております。

博士は気候が形成された過程のみを対象とするのではなく、生物の生存と進化および人間の活動までを相互に結び付けて解析しようとしたところに特徴があります。

灌漑やエネルギー消費等の人間活動が気候などに及ぼす影響を調べる一方で、地質時代までさかのぼって大気の組成を定量的に解析し、過去の温暖化現象の主因が二酸化炭素濃度にあったことを確認したのです。そして、1971年当時は地球気候が寒冷化に向かうと予想されていましたが、化石燃料の消費による大気中の二酸化炭素濃度の上昇が平均気温を上昇させ続けることを報告し、世界に警鐘を鳴らしました。

また、気候環境と生物群との相互作用について研究し、1971年に「気候と生命」を著しました。この中で、過去にみられた気候の大きな変化と動物種の絶滅とを関係づけており、地球環境問題の予測に役立っています。

さらに、博士は核戦争から発生すると予想される大量のエアロゾルが、成層圏まで上昇して日光を遮り、人類の破滅につながる程の気候寒冷化を引き起こす、いわゆる「核の冬」の問題を、1980年代はじめに先駆的に予測して警告しました。これは、当時の米ソ中距離核ミサイル撤廃条約の締結に役立ったと言われていています。

このように、物理気候学を確立して、その後の気候予測に物理学的手法を応用する道を拓いたばかりでなく、気候と生物圏、さらに人間活動との相互作用についても検討を加えて、地球環境問題の解明に果たした役割は計り知れないほど大きいと言えます。

「地球温暖化とそのゆくえ」

ミフアイル・イ・ブディコ博士

現代の気候変化

大気の化学的組成と物理的状态が人間の活動の影響によって変化し始め、生物圏全体に変化をもたらしていることが今世紀後半から認識されてきました。生物圏における大規模な人類の影響力が抑制されないと、地球の生態系に危機をもたらします。したがってこれらの変化を予測するためには、どのような経済発展の道をとるにせよ、人為的の行為による生物圏内の気候に関連した変化をより良く理解することが必要です。この問題を解決するには、他の環境問題にも同様に通じることですが、他のほとんどの科学分野における場合とは異なった、ある挑戦をしなければなりません。すなわち、人間を含む生物と環境との関係を研究するためには、他の研究領域、とくに生物学、地理学、地球物理学、地球化学、地質学、経済学、工学などに固有のデータと方法を応用しなければなりません。これらの科学領域は、さらに専門分化された多彩な分野を含んでいます。

今日、各科学分野の情報量は膨大となり、各分野がさらにより専門的に分化されており、そのような状況の下で、すべての分野のあらゆるデータを総合して私たちの抱える問題を解決できるかどうかの可能性はかなり制約されています。しかし現在利用できる情報を統合することなしには、地球生態学の研究にはいかなる進歩もあり得ないでしょう。

過去数十年間に、地球生態系の発達モデルに関する研究がいくつか発表されています。そのテーマの一つに現代の気候変化の研究があります。この研究により明らかになったことは、石炭・石油、その他の化石燃料の燃焼量が増えつづけたことにより、大気の化学組成が変わることです。その主な原因は、大気中の二酸化炭素量の増加です。その結果、いわゆる大気の温室効果が著しく高まり、現在ではこれが地球温暖化の主因であるとされています。地球温暖化はすでに生物圏の構成要素に変化をもたらしています。水圏（地球の表面を覆う水の部分）、氷雪圏（同じく氷結した部分）、土壌、植生、動物までも変化をきたしているのです。自然界のこうした変化の中には、人間の生活や活動に影響を及ぼしているものもあります。それゆえ、生物圏に対して人為的要因が将来どのような影響を与える可能性があるのか、その予測を行う必要があるのです。こうした予測が長期経済発展計画の立案に使われるとすれば、信頼性が高いものでなければなりません。必要とされる高い信頼性をもった予測は、地球生態学の研究がさらに発展することによってのみ確実に得られるのです。

生物圏における将来の変化を正確に評価するためには、過去の地質時代においてどのように生物圏が進化してきたかを、より詳しく知らなければなりません。とくに、生物圏の変化が急激であった地質時代を重点的に研究する必要があります。

これらの研究にかなりの努力が費やされた結果、3つの温暖紀（完新世の最適気候期、リス氷期とウルム氷期との間の間氷期および鮮新世）における夏期ならびに冬期の地表温度と年間降水量が地球規模で明らかになりました。これら3つの温暖紀の地球表面の平均気温は産業革命前の時代にくらべると、それぞれ1、2、そして3～4 高かったことが分かりました。図1～3がそれぞれ示している3つの地図は1年のうちの温暖期（上図）と寒冷期（中図）の地表温度変化と年間降水量（下図）を表わしています。これらの地図は、現在の地球温暖化の下での地域の気候変化を知るための古気候からの類推シナリオとして活用することが可能で、それぞれ21世紀の最初の十年間の末期、最初の四半期の末期、そして21世紀半ばにあたります。

ロシアの科学者グループは、この15年間、過去の地質時代において大気の化学組成がどのように変化してきたかという研究を進めてきました。主な目的は、5.7～5.9億年前から現在までの顕生代において大気中の二酸化炭素と酸素の増減の歴史を明らかにすることでした。大気の化学組成の変遷についてのデータを生物界の進化のデータと比較したところ、生物進化の主要段階と大気の化学組成の変化の間には密接な

相関関係があることがはっきりしました。この研究で得られた、過去の地質時代における二酸化炭素の量的変化のデータは、人間が化石燃料を燃やし二酸化炭素を増やした結果起こる現代の人為的な気候変化の解明に利用されました。新生代(約7000万年前以降)には大気中の二酸化炭素が減少する傾向にあったことも分かりました。またこの減少傾向はその後変わって、二酸化炭素濃度がより高い時代へ移行したことが分かりました。新生代における地表の平均気温変化の一般的パターンは、大気中の二酸化炭素濃度の変化パターンと軌を一にしていることが明らかになりました。

二酸化炭素濃度の増減と平均地表気温変化の間に高い相関関係があるという点はとくに重要です。第三紀(新生代の前半)の各時期における平均地表気温と二酸化炭素濃度との相関係数は0.9より高い数値を示しています(図4)。この相関関係は、気温に対する二酸化炭素の温室効果を評価するのに使うことができます。この効果は、二酸化炭素量が倍増すると、平均地表気温は3℃上昇することを示しています。この値は、二酸化炭素が大気の熱収支に与える影響を気候理論の方法を用いて推算して得られた値とよく近似しています。地表気温と大気組成との関係がかなりよく分かったと考えると、古気候(先史時代の気候)のデータを地球のさまざまな地域で温室効果と地表温度との関係を確かめるために用いることができます。同じような課題が現代の他の気候要素の変化、とくに降水量の変化の研究にも設定されました。主要な気候要素の予想される変化を推測するために用いた2つの方法、すなわち気候理論に基づくある独立した方法と経験的方法で求めた未来気候予想の間の相関は、地域気候の変化を予想するためのスキル・スコア*の判定基準として利用できます。これらの方法には、現代の気候変化を古気候から類推する方法、現代に近い地質時代の温暖な気候状況に関するデータ、およびさまざまな気候理論のモデルなどが含まれています。

現代の気候変化のメカニズムが研究対象として大きくとりあげられるようになったのは、やっと1970年以降のことです。1970年に、当時からみて過去の数十年間に地表気温が徐々に下がっていることが認識されました。しかし、寒冷化の原因が何かはまだ分かっておりませんでした。気候学者たちの中には、今後しばらく寒冷化傾向が続くと信じた一派もいましたが、大多数の専門家は、将来の気候を明確な科学的証拠をもって予測するのは不可能だと考えていました。しかしながら私は、近い将来、地球温暖化が進み、21世紀には数℃の上昇をみるだろうと確信していました。私は1971年にレニングラードで開かれた国際会議でこの考えを表明し、同時にこの見解を著作にして発表しましたが、70年代に私のこの見解を支持した人は誰もおりませんでした。70年代半ばに、高緯度地域での温暖化の可能性を示唆する観測データが発表され、中緯度の特定の地域でも同じようなデータが得られました。そして、ついに80年代、90年代になると、地表の平均気温が記録的な高さに上昇したのが観測されたのです。最近では、地球温暖化は国際的な研究機関によって事実として認められ、また気候学に関する多数の科学論文によっても確認されています。

この15年間に行われた気候変化の規則性の経験的な解析によると、地球上のいくつかの地域でこの間に観測された夏と冬の地表気温や降水量の異常は、21世紀初期に予想される異常と類似しています。21世紀初期の予測値は、地質時代のいわゆる完新世(気候最適期の後半)における気候変化の地域的な気候特性のデータに基づいたものです。

私たちは、迫りくる地球温暖化に関する発表に引き続いて次々と公表した報告の中で、地球温暖化が環境とくに冰雪圏に与える大きな影響について論じました。20世紀も最後になって、この予想が正しかったことが証明されました。すなわち北極海の海水域の範囲が減少し、海氷の厚さ自体も薄くなり、多くの山岳氷河が崩壊し、北半球高緯度にある永久凍土は北へ後退し、乾燥帯や半乾燥帯の降水パターンも変化しています。

私たちは1970年代という早い時期にこの30年間の平均地表気温の上昇を予測しましたが、上昇程度は0.5℃を超えるというものでした。この予測は同期間中の気象観測の結果(図5)と一致しています。地球気候の変化予測値が直接の観測値によって確認されるなどということは、気候学の歴史上特記されるべきことであり、きわめて珍しいことです。未来の気候変化を予測する試みはこれまで何度もなされましたが、ほとんど失敗していたからです。物理気候学の方法をもってすれば、21世紀前半の気候変化の予測に成功すると誰もが思うかもしれませんが、しかし、残念ながら予測の精度と予測できる期間は限定されています。その理由は2つあります。主な理由は、将来の大気の化学組成が大気への排出ガスを制御する国際条約の如何によって異なるため、高い信頼性をもって予測できないことにあります。第2の理由は、数十年とい

* 上達、進歩の度合(訳者注)

う期間にわたる気候変化の予測精度は、最近ではかなり上がったとはいえ、まだ不十分であることです。気候への人為的な影響を評価するいくつかの経験的および理論的方法をあわせて応用することによって、その精度を改善することができるでしょう。

一般的にいて、今日では寒候季地域の平均地表気温の予測は非常に信頼できるといってよく、とくに高緯度地方についてはそういえます。しかし暖候季については、同じ予測精度では予測できません。その理由は、一つには暖候季における平均地表気温変化の予測値が相対的に小さいということである程度説明できます。降水量については、理論モデルと類推モデルのいずれによっても、現在のところ、要求される精度をもって未来の降水量変化を予測することはできません。比較的短期(今後20年間くらい)であれば、経験則(類推法)に基づいてある程度の信頼性をもった予測が可能です。

気候変化の予測の精度を高めるためには、物理気候学の主導的な専門家たちが共同作業できるような国際機関の設立が望まれます。

現代の気候温暖化の影響

気候変化と世界の食糧問題

予想される地球温暖化の影響は数多くあげられますが、経済の観点から最も重要なのは農業に対する影響でしょう。予測の精度が重視されるのも、気候変化の経済的重要性が認識されているからであり、また、地球温暖化への適応戦略をどのように立てるかがそれによって変わってくるからです。

将来の農業問題の解決を考えるにあたっては、21世紀中ごろに100億人に達すると予測されている地球人口の増加が問題となります。現在、先進国を除いてその他の国々の人口を養うだけの食糧が十分でないことは周知の事実です。その結果、アフリカやアジアの多くの国々は、ある周期をもって食糧危機や飢饉にさらされています。このことを考えると、向こう数十年間の1人あたり食糧生産がたとえ増えないにしても、減らないことを期待するわけですが、単純に計算しても、増加する世界人口を養うには世界全体で現在の2倍の食糧生産量が必要です。人類にとって重大なこの問題に地球温暖化はいかなる影響を与えるのでしょうか。

これに答えるにはいくつかの要因を考慮しなければなりません。まず、向こう数十年間に耕地の大幅拡大はあり得るのかについて解析してみると、肥沃度の低い広大な未開拓地を農業開発するには膨大な投資が必要となりますから、その可能性はあまりないと考えられます。

次に考慮すべき問題は、新しい集約的農業技術を導入することによって、どの程度収穫量を増やせるかという点です。これについて解析してみると、現在の収穫量レベルが低い作物や地域のうちの多くのものに、ある程度の明らかな改善が期待できます。しかし集約的農業技術の導入だけで、21世紀半ばまでに世界の農業生産量を倍増できるとはいえません。とはいっても、すでに述べたように、現在の1人あたり食糧消費量を維持するためには、生産量を倍増する必要があります。

この議論に関連してここでもうひとつ問題を提起しましょう。大気中の二酸化炭素濃度の上昇、あるいは気温や降水量の変化などから予想される重要な地球規模の変化は、植物の生長にいったいどのような影響を及ぼすのでしょうか。

植物生理学の基本概念からいえば、大気中の二酸化炭素濃度は作物の生産力を左右する主要因の一つです。日射と共に大気中の二酸化炭素は光合成の必須要素であり、生物の反応速度の法則にしたがえば作物の生産力増大に役立ちます。大気中の二酸化炭素濃度の上昇が植物の生産力に与える生理的影響については、その分野の著作の中で詳細に論じられてきました。事実、多数の論文で報告された実験的結果に基づいて、大気中の二酸化炭素の増加が主要作物の生産にプラスの効果をもたらす要因であると結論することができます。

気温と降水量の変化が地球各地域の潜在的生産力に及ぼす影響を予測しようとすると、予測の計算にどのような気候変化のシナリオを用いるかによって結果が異なってきます。例を1つあげましょう。世界の三大作物、小麦、米、トウモロコシについて地球温暖化と二酸化炭素濃度のレベルが異なるいくつかの国を選び、潜在的生産力がどのように変化するかを示すことができます(表1)。

将来の気候変化の重要性を世界の農業に与える影響という観点から評価すると、人為的な原因による地

球温暖化、とくに大気中の二酸化炭素濃度の上昇は、地球上の多くの地域で作物の生産力を向上させることができます。しかしながら、この評価結果は、地域によって大きく異なるであろうということを忘れてはなりません。

気候変化が自然地理帯に及ぼす影響

今後数十年間に予想されている気候変化は、自然の陸上植生とその地理的分布に大きな影響を及ぼすことでしょう。

類推法で求めたシナリオによると、地球温暖化の初期段階である1～2の気温上昇では、ヨーロッパ北部の極地ツンドラは完全に消滅してしまいます。そしてシベリアのツンドラ南限は北へ大きく移動するでしょう。もしも地球気温が2℃上昇した場合は、タイガ森林帯の南限は北緯65°まで北上し、それより南方は混合林となるでしょう。同時に針葉樹林帯域は緯度10°分だけ北へ移動します。森林とステップ(中央アジアの草原地帯)の境界も北、東、西方へ移動します。このため現在、針葉樹林で覆われているロシアの国土はステップ帯となるでしょう。

古気候からの類推法で求めたシナリオによると、ユーラシア大陸のツンドラ地域および森林/ツンドラ地域が大きな影響を受け、それらの面積は大幅に減少します。この2つの地域は現在のロシア国土の約20%を占めていますが、地球温暖化による気温の2℃上昇でそれらの面積はわずか4%に縮小するでしょう。針葉樹林は3分の1、あるいはそれ以下に減少するでしょう。逆に現在のロシア国土の1%を占める広葉樹林帯は、15%にまで広がるでしょう。さまざまな予測によると、旧ソ連の森林/ステップ地域の面積は2倍になり、ステップ地域は80%拡大します。

さまざまな評価方法で得られた結果をまとめてみると、予測の定量性にある程度の差はあるものの、地球温暖化の影響で各種植物帯がどのような傾向を辿るかに関して基本的にほぼ同じ結論になっています。ツンドラ帯とボレアル(亜寒帯針葉樹)森林帯の縮小、ステップ帯の拡大、砂漠地帯と半砂漠地帯の縮小の可能性といった重要な影響については多くの研究者の間で大方の合意が得られています。したがって私たちも、これらの評価方法を実践に生かすことができるといってよいでしょう。とくに、地球温暖化の影響を受ける自然植生を保護するという観点から、社会経済的に重要でかつ環境的に健全な政策決定をするのにあたって、これらの方法は役に立つでしょう。

地球温暖化と永久凍土

ユーラシア大陸と北米大陸に広がる永久凍土は、きわめて広大な面積を占めています。過去数十年の間、これらの地域は人為的な影響を大きく蒙ってきました。そこで永久凍土が将来にどのように変わってゆくかについて理論的に予測するという課題が出てきます。短期的および長期的に将来の永久凍土の状態を予測するにあたって考慮すべき重要な側面は、地球温暖化の影響下での地表の温度状態の変化です。

ロシア国内の永久凍土がどのように変化するかについて、気候変化に関する古気候から類推するシナリオに基づいて徹底した解析が行われてきました。図6は、ユーラシア大陸の永久凍土の変化の予測を示したものです。温暖化が2℃のとき、永久凍土は、季節によって凍土となる上層と永久凍土が“分離”するだろうと予測されます。コンピューター解析によると、そのような気候の下で上層が分離する永久凍土の面積は、現在の永久凍土地帯の15～20%に及ぶとされています。緯度の異なる永久凍土地帯をいくつか選んで、温暖化によって永久凍土の上層崩壊が北上していく「速度」を推算することも可能になっています。それによると、この速度は、シベリア西部で年間10～15キロメートル、シベリア東部および極東地域で年間20～25キロメートルとなっています。また、温暖化の影響で熱が地中に浸透して永久凍土が上部土層から分離する速度は、50年間で約7メートルと予測されています。

暖房用エネルギー消費量の変化

地球温暖化の影響の重要な側面の1つとして、北半球の北方地域では、厳寒の期間の短縮化と、寒さの緩和によるエネルギー消費量の減少があげられます。温暖化により気温が1℃上昇すればロシア北部では

暖房の必要な期間が1～2ヶ月減り、ロシアの中央部地域および旧ソ連の南部の共和国では10～15日少なくなると試算されています。これがさらに3～4の上昇であれば、暖房の必要な期間がさらに短くなり、北部で2～4ヶ月、それ以外の旧ソ連の地域で1～2ヶ月減少するでしょう。

モンゴル、中国、朝鮮半島など、アジアの中緯度地域では、1の温暖化で暖房期間は10～15日少なくなります。温暖化がこれよりさらに大きいと推定されている21世紀半ばには、これらアジア諸国の暖房の必要な期間は現在より1ヶ月は短くなるでしょう。カナダの大部分とアラスカではどうでしょうか。地球温暖化の第1段階で20～30日の暖房期間短縮、米国では10～15日の短縮となります。温暖化の第2段階となる21世紀半ばには、米国では1ヶ月から1ヶ月半の短縮、カナダ北部では、暖房期間が現在より3ヶ月、カナダ南部では1.5ヶ月あるいは2ヶ月短くなるでしょう。

今日、ロシアでは寒い季節の暖房のためのエネルギー消費量は北部で300～350度月（室温と外気温との月平均差（ ）の暖房期間における積算値）南部で50～100度月となっています。計算によると、21世紀初頭には温暖化により、エネルギー消費量は、ヨーロッパロシアの極北部とシベリア西部で現在より15～20%減少するでしょう。もしも温暖化が進んで3～4の気温上昇となれば、シベリア東部・極東地域の北部でのエネルギー消費コストは2分の1にまで減少するものと思われる。

西ヨーロッパおよび中央ヨーロッパに目を転じると、21世紀初頭の暖房期間におけるエネルギー消費量は、10～20%の減少、21世紀半ばで20～40%の減少となるでしょう。モンゴル、中国、朝鮮半島では21世紀初頭で10～15%減少、21世紀半ばで30～40%減少、カナダと米国は21世紀初頭で10～15%減少、21世紀半ばで30～50%減少となります。

気候変化によるエネルギー消費コストの減少が予想される北方の地域に対して、南方の国々の多くは、建物の空調のためのエネルギー消費量が増えることとなります。これは地球温暖化のマイナスの影響といえます。世界人口の大半が住んでいるのが南の国々であることを考えれば、建物内部を冷房するエネルギーコストの上昇は、北の地方のエネルギーコストの低下量を超えるでしょう。この問題を詳細に研究すれば、将来のエネルギー輸出入をいかにすべきかが分かってくるでしょう。

水文状態*への気候変化の影響

人為的気候変化がもたらす主な影響のうち、疑いもなくきわめて深刻なのは、多くの国や地域の水資源、すなわち多数の河川、湖沼、貯水池、地下水などの水文状態の変容です。水文学的パラメーターの変化は、工業、農業、水力発電など多くの産業分野や環境にも直接影響するでしょう。一例として、ボルガ川、ドニエプル川、エニセイ川というユーラシア大陸の3つの大河川の流域について類似した方法で得たデータを検討してみましょう。

これらの河川について得たデータを分析した結果、地球温暖化のあらゆる理論モデルや古気候からの類推シナリオによる21世紀半ばの気候パラメーターの変化の下では、これらの流域の水資源は増加することが予想されます。米国プリンストン大学の地球流体力学研究所が開発したモデルシナリオや鮮新世温暖期からの類推シナリオによると、ボルガ川とドニエプル川の年間流出量は、約35%増えると予測されています。同様にエニセイ川の年間流出量は、20%増加します。一方、英国の専門家が開発した気候変化のシナリオは、降水量の増加を最大に見積もっているのが特徴ですが、このシナリオによると、それらの川の年間流出量はさらに大きくなっています。したがって気候変化により年間流出量が増加するので、将来ボルガ川とドニエプル川からの取水量を多くできると結論することができます。他方、エニセイ川については、シベリアの大河川としての将来に危険性はないということが期待されます。

年間河川流出量を予測するのは興味あることですが、それだけでなくその季節変化について理解を深めることも重要です。計算によると、ボルガ川、ドニエプル川、エニセイ川などの流出量の季節分布は降水量や気温の季節変化に強く応答して変化することが分かっています。ボルガ川とドニエプル川についていえば、流出量の季節変化をみると雪解けによる春の多量の流出がよく知られていますが、科学的予測もそれを示しています。これらの川の流出は大半が春に起こり、秋・冬・晩夏には最少となります。しかしこのパターンは、地球温暖化の下では変化してきます。ボルガ川とドニエプル川の最大流出量は11月から4

* 降水、降雪、流出、蒸発などにより地球上の水が変化してゆく状態（訳者注）

月にかけて大幅に増え、5月から10月にかけては、予想されるその地域の気候の変化の下では流出量が減少し、とくに7月は最少になるという予測が行われています。エニセイ川に関しては、気候パターンの変化は流出量の季節変化にあまり大きな影響を与えないようです。21世紀中ごろについての予測計算によると、エニセイ川の最大流出量が春に起こるのは現在と変わりませんが、春季洪水期間が長くなり、また始まるの時期が現在より多少早まるようです。

結論

以上に述べた地球温暖化から予想される影響に加えて、他の関連分野においても、気候変化から起こる重大なマイナス影響があります。例えば気温の上昇、蒸発散の増大、土壌の乾燥化、海面水位の上昇などが引き起こす影響です。作物の反応に関する多数の研究の中で指摘されているように、気温上昇によって米、トウモロコシ類といった夏作物や家畜に高温障害が増え、夏にはお年寄りや子供の熱射病が増えるでしょう。また、現在は主として亜熱帯地方や熱帯地方に存在している雑草、病原菌、疾病などがさらに北上して広まってくることも考えられます。温暖化によって海洋が熱膨張し、氷河の一部が融解する結果、海水面が上昇し、低地の浸水を引き起こして農業その他の産業に影響するでしょう。したがって、地球温暖化により夏の高気温と土壌乾燥が頻繁に起こると予想される中緯度から低緯度の地域では、多くの作物で潜在収量が10～30%減少する可能性があります。

他方、私たちが古気候からの類推のデータと半経験的な気象-作物モデルから得たシミュレーションの結果が明らかに示しているところによると、現在は夏の低温により作物の潜在生産力の低いロシア北部やカナダ平原地方において、地球温暖化は作物の生産力を高めるでしょう。しかし土壌の質が不適切で地形がよくないため、こうした食糧増産の可能性も限定つきで考える必要があります。したがってロシア北部やカナダ平原地方などの高緯度地域において地球温暖化により生産性の増大が予想されたとしても、アメリカの大平原地方やヨーロッパ中部など、現在の主要穀倉地帯について予想される生産性低下を補うほどは大きくないでしょう。結局のところ、予測される地球温暖化が人類社会全体にとってプラスであるか否かの結論を高い精度で出すことは大変難しい問題です。

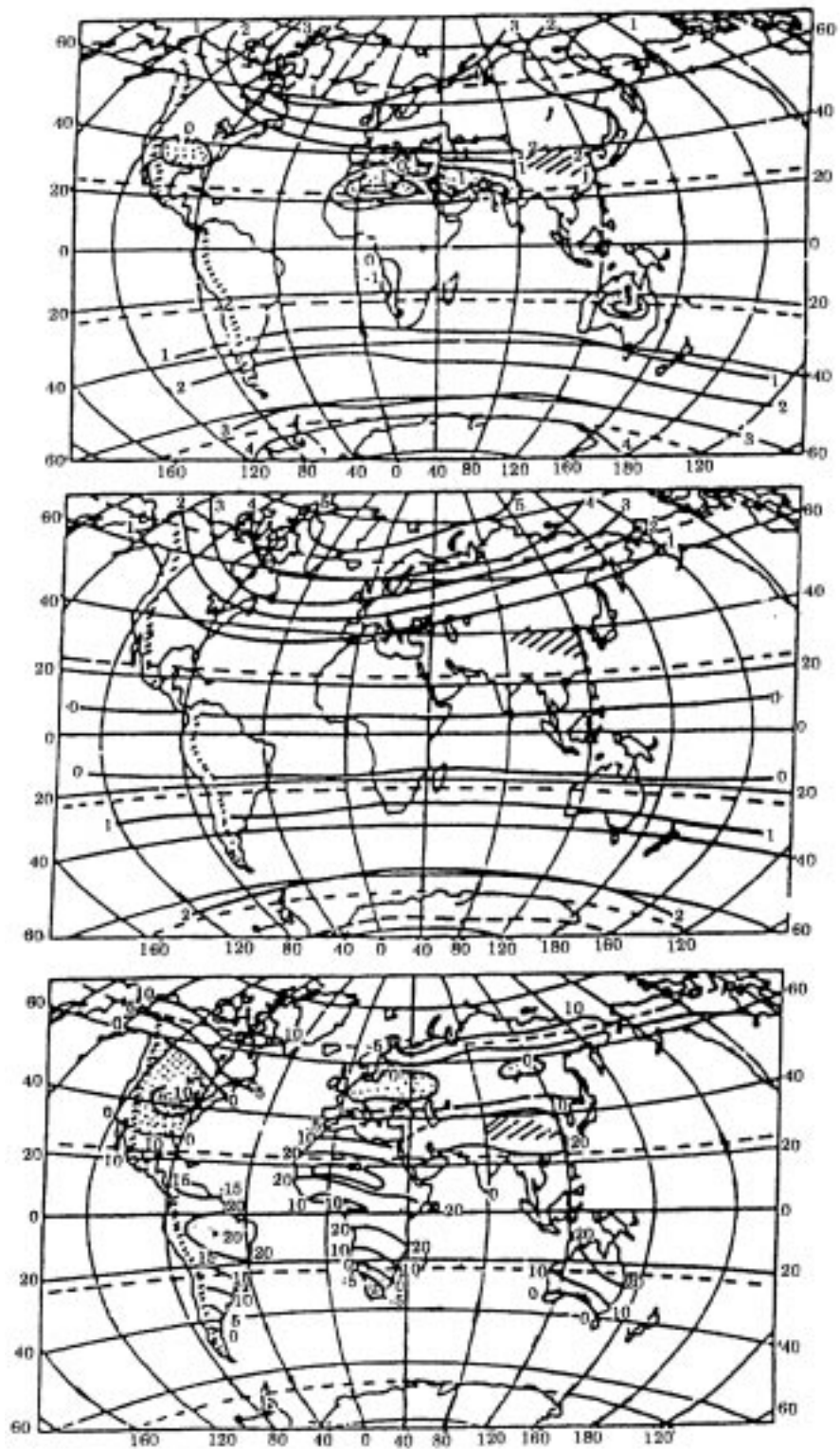


図1 完新世の最適気候期類推シナリオによる2005～2010年の気候変化予測
 上図 = 7 - 8月の地表気温
 中図 = 1 - 2月の地表気温 (いずれも)
 下図 = 年間降水量 (cm)

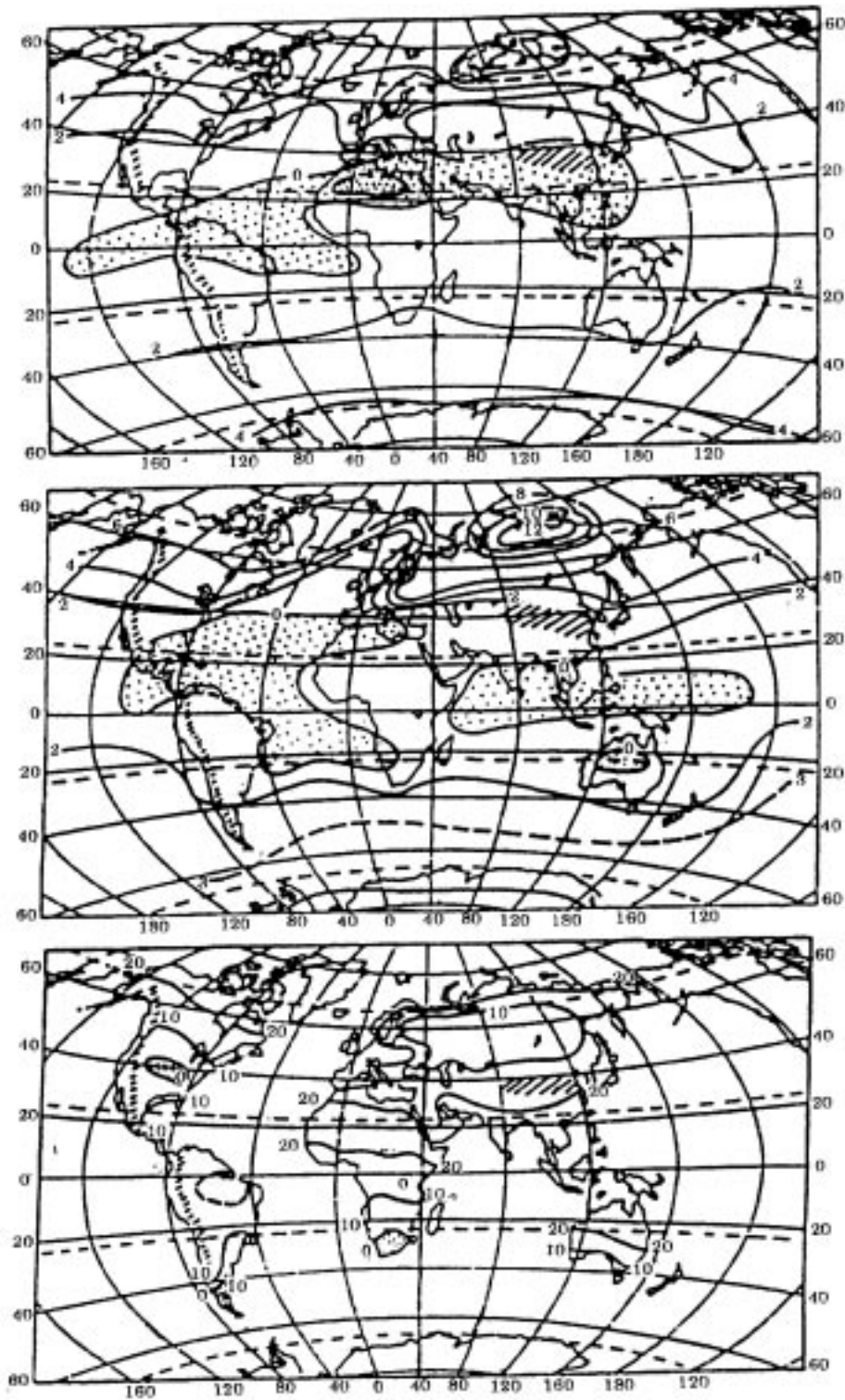


図2 リス・ウルム間氷期最適気候期類推シナリオによる2025～2030年の気候変化予測
 上図 = 7 - 8月の地表気温
 中図 = 1 - 2月の地表気温 (いずれも)
 下図 = 年間降水量 (cm)

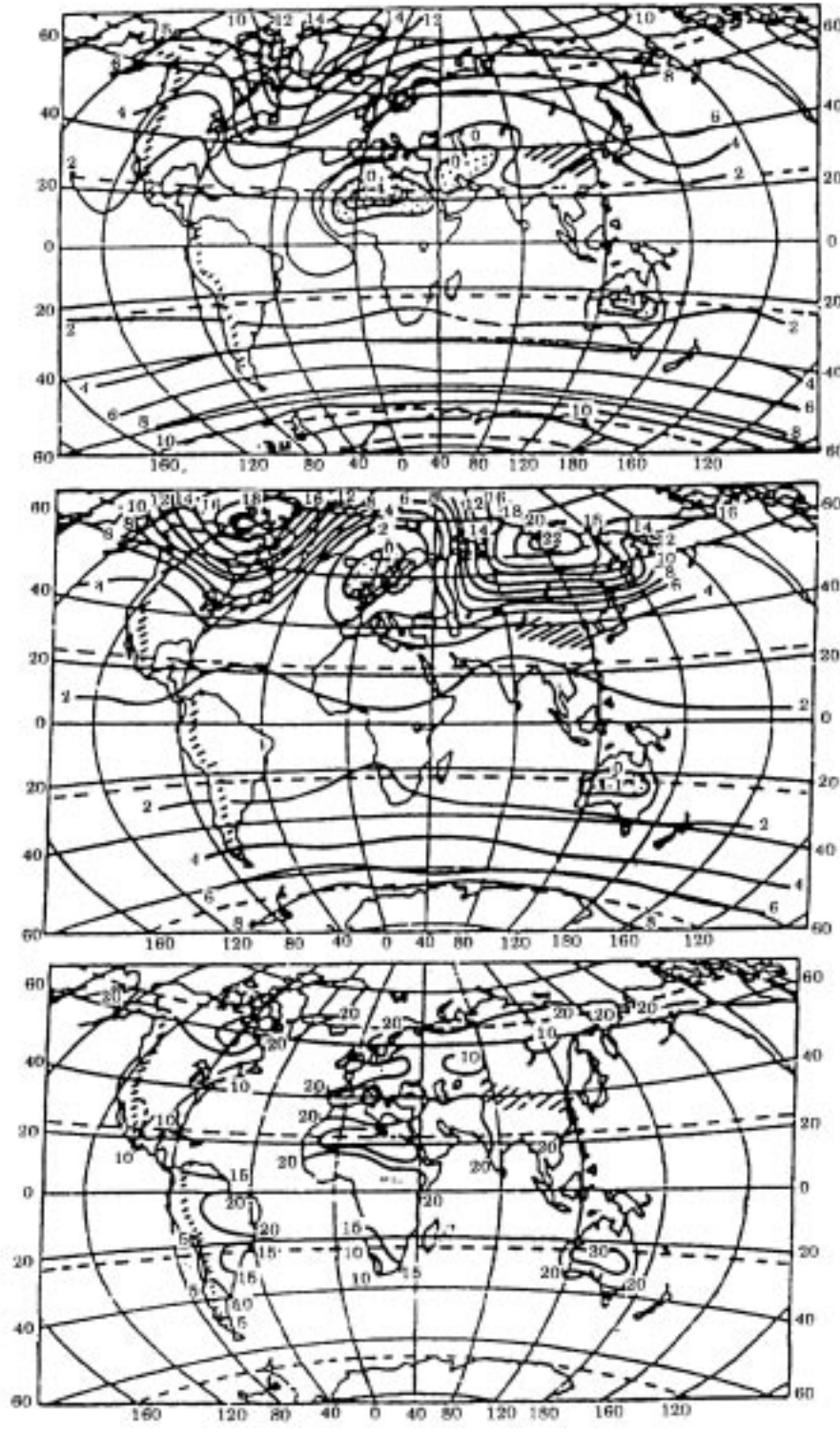


図3 鮮新世最適気候期類推シナリオによる2045～2050年の気候変化予測
 上図 = 7 - 8月の地表気温
 中図 = 1 - 2月の地表気温 (いずれも)
 下図 = 年間降水量 (cm)

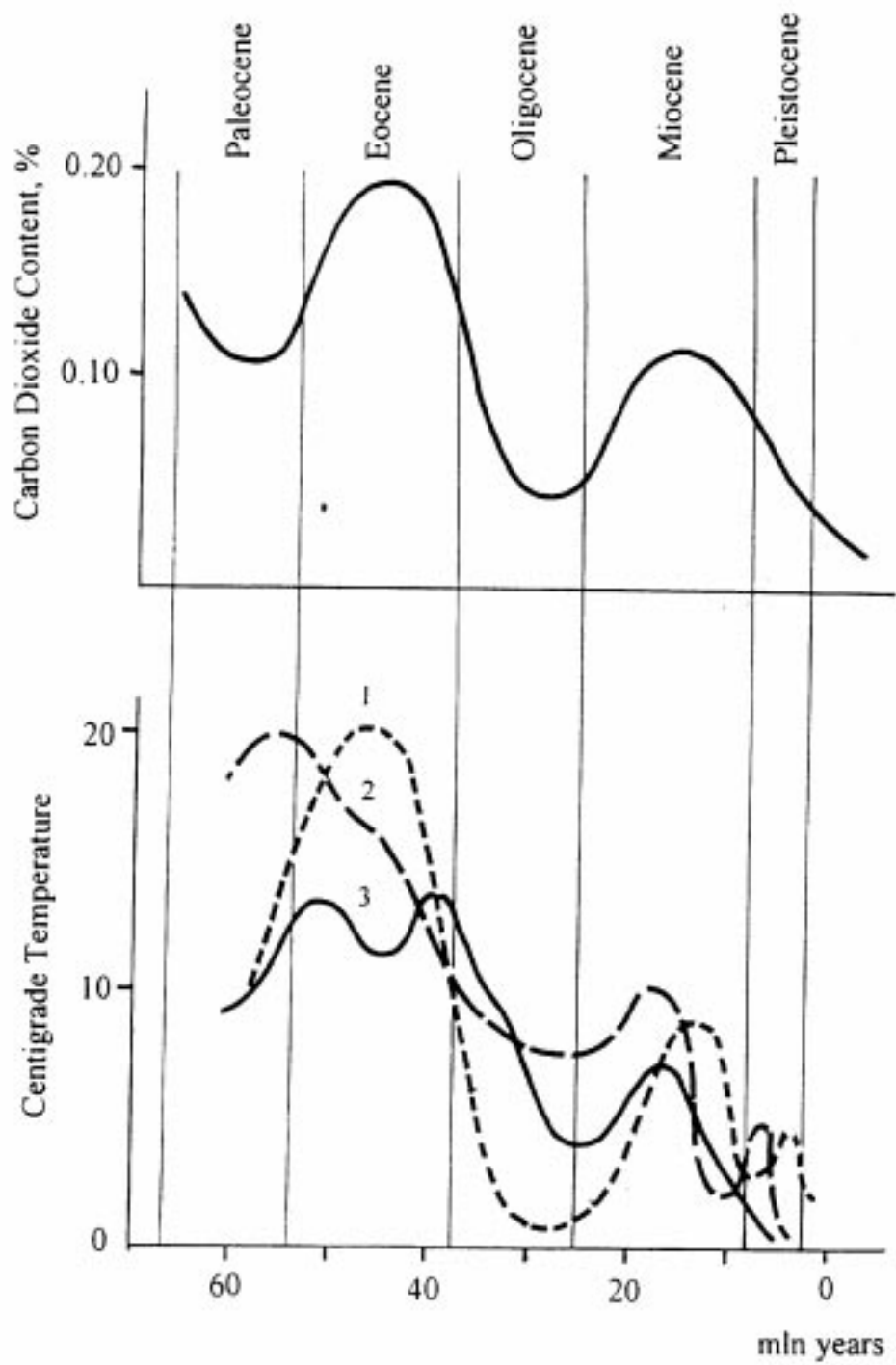


図4 7000万年前から現在までの地球大気中の二酸化炭素濃度の変化（上図）と地表気温の変化（下図）

下図の3つの曲線は北米西部（1）、北半球全体（2）、北海 北部（3）のデータである。

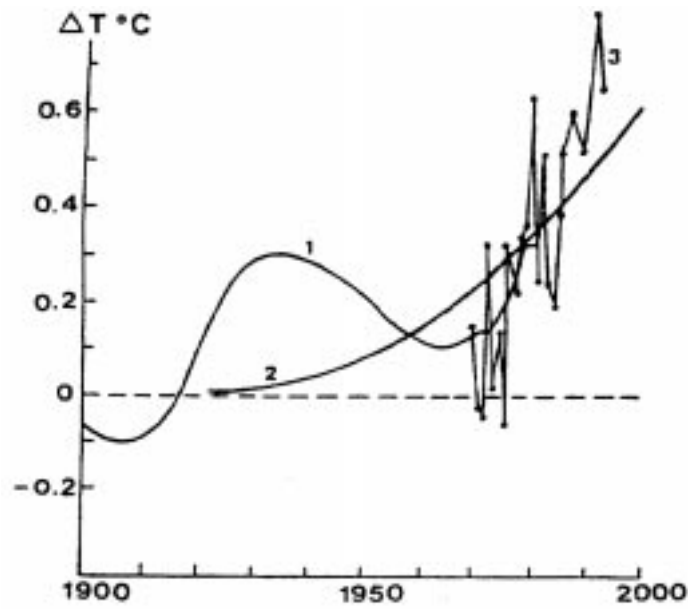


図5 20世紀における地表気温の変化

曲線1 = 北半球の平均地表気温11年間分をならした値の変化
 曲線2 = 1972年に提出された全地球平均地表気温の変化予測
 曲線3 = 1970年以降観測された平均地表気温の年々の振れ

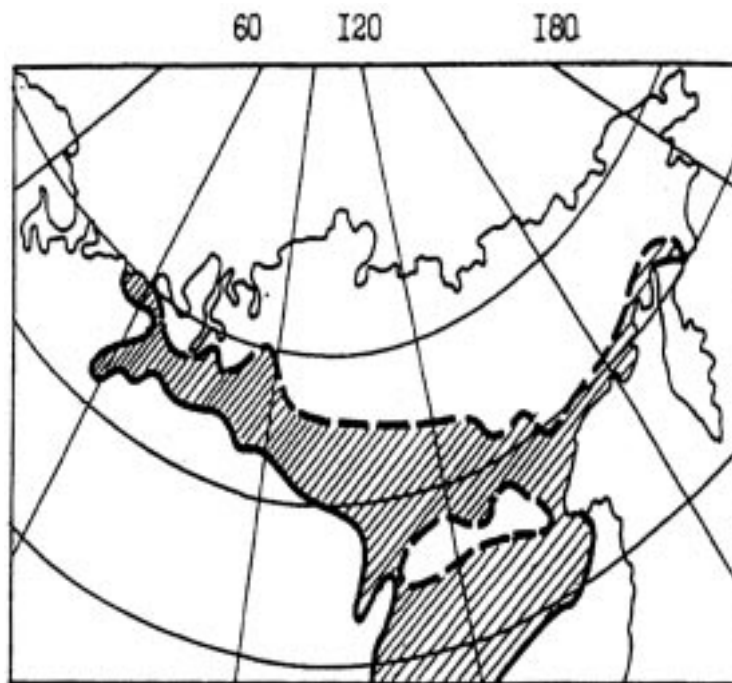


図6 気温上昇2 の地球温暖化によるユーラシア大陸の永久凍土の減少範囲 (斜線部分)

表1 3つの古気候類推シナリオから予測した未来気候に基づいた世界の3大作物
(小麦 = W、米 = R、トウモロコシ = M) の生産力の変化

ケース1 = 地球温暖化 1 、二酸化炭素濃度 400 ppm

ケース2 = 地球温暖化 2 、二酸化炭素濃度 460 ppm

ケース3 = 地球温暖化 3 、二酸化炭素濃度 550 ppm

Countries	1			2			3		
	W	R	M	W	R	M	W	R	M
Austria	9	-	-	14	-	-	31	-	-
Denmark	10	-	-	15	-	-	32	-	-
France	9	-	26	13	-	38	28	-	51
Germany	7	-	21	12	-	24	23	-	47
Hungary	3	-	8	7	-	10	16	-	13
Italy	4	10	6	7	15	8	16	23	12
Netherlands	5	-	-	11	-	-	21	-	-
Russia	6	-	-	10	-	-	22	-	-
Ukraine	5	-	9	9	-	17	20	-	30
Spain	6	15	12	9	26	15	22	43	29
Canada	5	-	-	9	-	-	22	-	-
Mexico	34	-	-	55	-	-	69	-	-
USA	2	-	2	8	-	17	21	-	31
Argentina	5	-	9	11	-	21	21	-	30
Brazil	4	7	6	7	11	11	16	22	17
Bangladesh	3	4	2	7	5	4	14	15	10
China	8	19	14	8	20	15	17	32	24
India	9	8	29	11	12	42	24	19	67
Indonesia	-	1	0	-	4	1	-	9	2
Iran	32	-	-	56	-	-	73	-	-
Japan	7	11	7	9	18	11	15	30	19
Kazakhstan	8	-	-	14	-	-	27	-	-
Korea	7	10	8	8	14	15	19	21	29
Laos	-	5	3	-	7	4	-	14	8
Pakistan	7	-	10	12	-	16	23	-	29
Philippines	-	2	1	-	5	1	-	9	4
Thailand	3	4	2	7	6	2	12	11	5
Turkey	6	-	11	9	-	20	21	-	27
Vietnam	-	4	3	-	6	4	-	11	9
Algeria	22	-	-	30	-	-	41	-	-
Angola	-	-	49	-	-	61	-	-	72
Ethiopia	6	-	9	10	-	13	21	-	25
Ghana	-	7	3	-	8	4	-	16	6
Guinea	-	2	1	-	5	1	-	11	3
Kenya	3	4	2	4	5	3	12	10	4
Mali	-	12	5	-	14	6	-	19	8
Nigeria	3	3	2	6	5	2	20	13	3
Senegal	5	-	8	10	-	10	16	-	13
S. Africa	3	-1	2	8	18	22	14	22	36
Sudan	27	-	-	45	-	-	64	-	-
Zaire	-	3	2	-	5	4	-	12	6
Australia	6	-	-	11	-	-	26	-	-
N. Zealand	7	-	-	14	-	-	28	-	-