カスピ海の水位変動

On the Changes of the Caspian Sea Level

森 広道* (気象庁観測部高層課)

Hiromichi MORI Japan Meteorological Agency, Aerological Division

はじめに

ロシアではユーラシア大陸における気候変化の1つのシグナルとして、カスピ海とアラル海の水位変動の実況監視を行っており、その水位データがロシアの科学技術専門誌“気象と水文”1991年6月号から毎月の水文気象概況欄に掲載されるようになった。カスピ海の水位データは全地球的な気候変化のなかの僅か1つのデータにすぎないが、ユーラシア大陸だけでなく他領域の気候変化との関連からも参考になると思われる。

本解説文は、気象庁長期予報課に事務局を持つ長期予報研究グループ(L.Fグループ)が発行している“グロースベッター”誌の第31巻第1号に掲載された「カスピ海の水位変動について」という紹介論文をもとに、加筆修正したものである。

第1章ではカスピ海の水位変動の全体像を、第2章ではロシアの最近の論文から、気候変化に伴う河川流量変化予測等を紹介する。本文中で引用した論文は最後に参考文献として掲げているので、詳細はこちらを参考にしていただきたい。

I. カスピ海を取り巻く全体像

1. 周辺地域の状態

カスピ海は琵琶湖の約550倍の面積をもつ世界最大の湖で、最大水深995mは琵琶湖の約10倍である。カスピ海へはウラル川・エンバ川等のいくつかの河川からの流入もあるが、流入量の大半は東ヨーロッパ平原中央部から流れるボルガ川(カスピ海への流入量の約80%)に依存している(図1-1a、1b)。

カスピ海の湖面は海面より28m低く、その塩分濃

度はカスピ海に流入するボルガ川等の淡水の影響で平均海水の3分の1程度である。しかし、カスピ海の東に位置するカラ・ボガス・ゴル湾(図-16中の“D”に相当する)ではこれに流入する河川はなく、塩分濃度はカスピ海よりはるかに高くなっている。

カスピ海の隣カザフ共和国にあるアラル海・バルハシ湖・イシクリ湖の水位が近年急速に低下してきていることはよく知られている。例えば、アラル海の面積は60年代はじめ6万6千km²であったが現在はその3分の1に減り、水位は13m低下した。また、最近10年間にバルハシ湖の水位は2m下がり、イシクリ湖も3m低下した。

このように、近年のカスピ海周辺の地域が経済的要因(人為的要因)に気候的要因(干ばつ傾向)が重なり水位が低下しているという事実とは反対に、カスピ海では上昇傾向をたどっている。現在のところ、この水位上昇の直接原因についてははっきりとしたことはわかっていないが、農業用水・飲料水等の人為的要因によるボルガ川からの流入量の減少を打ち消すような大気現象が、カスピ海周辺で生じていると考えられている。その実態はどのようになっているのであろうか。

2. カスピ海周辺の水系及び水路

本論のカスピ海の水位変動に入る前に、カスピ海周辺の実態を見ておく(図-1)。

カスピ海系地域は約150万km²の集水域を持ち、シベリアの3大河川に次ぐボルガ川によって支配されている。全長約2500kmのボルガ川は、その東岸の支流であるカマ川とともにヨーロッパ平原の大部分とウラル山脈の西側面の水を南方へカスピ海へ向けて流

*気象庁観測部高層課 〒100 東京都千代田区大手町1丁目3番4号

Japan Meteorological Agency, Aerological Division, 3-4, Otemachi 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100

図一 a カスピ海周辺の水系図

図一 b カスピ海周辺の水路図

している(図-1)。

ボルガ川は高度に発達した交通機関として、貨物輸送量の50~60%を担っているが、ボルガ川の機能は運河の建設によってさらに重要性を増している。例えば、1952年に完成したボルガ・ドン運河は東部ウクライナとの接続とボルガ川・黒海間の連結を提供し、また、カスピ海がザカフカスと中央アジアをつなぐ役割をはたしている。

また、カマ・ボルガ合流点から下流では、ボルガ川は一連の水力発電用に堰止められた人工湖となり、種々の水門によって流れを遅らせながら川の積載能力を増大させている(図-1b)。

3. 水位変動

カスピ海の水位変動については長期的な変動が調べられている。過去200年間の水位変動は4.5mに達し、今期間の最高水位は1804~1805年で、最低水位は1977年であった。

また、地質学的推定によると今から約2千年前の水位は現在より15m程度高かった。この高い水位は次第に低下していき、5~6世紀頃は現在よりも3m程度低くなった。その後、水位は次第に上昇し14世紀頃には約10m程度高くなった。

1830年より観測機器によるカスピ海の正確な水位観測が始まった。その実測値によると、ボルガ川の水を灌がい用水に利用するなどの人為的要因が影響

し、1830年から1930年までの100年間は約1m程度の緩やかな水位の低下であったが、1930年から1970年の40年間は約3mの低下となった。

特に、1929年から1956年にかけては2.4mも低下(注:50年代は旧ソ連経済において“黄金時代”と呼ばれた経済成長期に対応している)したため、浅瀬の多い北部の旧ソ連領を中心に漁村が内陸に取り残されたり、港が使えなくなり社会問題化した。この低下は1977年を境にして上昇に転じ、現在まで水位の上昇が続いている(図-2)。

4. 最近の水位変動

上述のようにカスピ海の水位は1930年から1977年まで低下し、この低下は3m以上に達したが、図-2ように1978年から現在(1991年)までカスピ海の水位は上昇している。1990年の平均水位-27.57m(以下、水位は全て海面を基準)は1977年の水位よりも約1.5m高かった。

1990年7月(月平均水位-26.98mは1990年6月よりも0.5m高い)、カスピ海の水位はボルガ川への流入量の増大により最大に達し、この水位は12月にかけて僅か7cmしか低下しなかった。

図-3はロシア連邦水文気象委員会(旧ソ連国家水文気象委員会)発行の水文気象概況欄の記事より、1990年9月から1992年9月までのカスピ海の水位をグラフ化した図である。一般的に水位は顕著な年内

図-2 カスピ海の水位変動の経年変化図¹⁾。1929年の-25.83mと1977年の-29.04mがそれぞれ今期間中の最大値と最小値。

図-3 カスピ海の水位変動 (1990年9月から1992年9月まで, “気象と水文”の各月の水文気象概況欄より)。

変動を伴っている。最高水位は7～8月, 最低水位は12～1月で, 水位の季節変化は平均で20～40cmとなっている。

図-3によると, 1991年9月から1992年9月の平均水位(-27.06m)は前年の同時期よりもさらに20.3cm高い。また, 1992年の春先には, ボルガ川の河川で氾濫と増水があった。特に, ボルガ川の隣の流域であるアゾフ海に注ぐドン川での春先の増水は, 最近100年間では最も厳しいものであった。

また, 最近のカスピ海の水位上昇の特徴として, 強風の効果による水位上昇が加わり, 沿岸域の水位が著しく高くなっていることがある。この結果, 沿岸の地域によっては水位はすでに1.0～1.5m上昇し, 30～40kmの距離まで水が浸水, 特にカスピ海の北部で多くの被害が発生している模様である。

さらに, カスピ海の北東部においては水文気象観測網が充分ではなく, そのことも強風による沿岸の水位上昇の予測を困難なものとしているようである (注: ロシアの気象機関では地域によって若干異なるが, 15m/s以上の風速が予想されると強風注意報が, 25m/s以上の風速が予想されると強風警報が発令される)。

5. 水位上昇の原因 (その1)

一般的には, カスピ海の水位上昇の原因として次の4つが挙げられる。①湖底の上昇 ②雪解け水の増水 ③ボルガ川の水量の意図的操作 ④1990年のイラン地震等, 周辺地域での地震の影響。

1991年8月, カスピ海とアラル海等での水位変動の相違を, ソ連国家水文気象委員会とソ連水文気象センターで担当官に質問する機会があった。Trenin B.A.旧ソ連国家水文気象委員会予報部長とVasiliev A.A.水文気象センター長はともに上記の上昇原因のうち②を主張された。

両氏のカスピ海の水位上昇のシナリオは, 「カスピ海の水位上昇は, ユーラシア大陸での80年代に入ってから的高温, 特に冬季のヨーロッパロシアにおける気温の上昇によりその地域の融雪量が増加した。増加した雪解け水がボルガ川を通過してカスピ海に流入した結果, 水位が上昇している。これに対して, カザフ共和国周辺では, 例えばアラル海の場合, 北方には河川はなく, 南方にあるアムダリア・シルダリアという2大河川は中央アジア山岳地帯に流れている。」というものであった。

6. 水位上昇の原因 (その2)

Trenin B.A.旧ソ連国家水文気象委員会予報部長のカスピ海の水位上昇に関する原因の要旨は以下の通りである¹¹⁾。

1978年から1991年の水位上昇の主要原因は、カスピ海への流入量の増加にある。1970年から1977年にかけての水位低下時、カスピ海への平均流入量は年間240km³であったが、1978～1990年の水位上昇時には年間307km³に増加した。

しかも、1980年にカラ・ボガス・ゴル湾を堰止めたこともカスピ海の水位を上げるのに寄与した。この影響で年間3～4 cm、1980～1990年の10年間で約35cmの水位上昇があったと計算された。カスピ海における水バランズ計算では、流入量(主として河川等からの流入量、地下水からの流入量と流域での降水量)と流出量(主として湖面からの蒸発量とカラ・ボガス・ゴル湾への流出量)から推算し、1970～1977年の期間は年平均水位で-14cmとなった。一方、1978～1990年は反対に年平均で+14cmであった。

このような、カスピ海での水バランズの平均値を旧ソ連国家海洋大学と同水文大学が計算し、以下のような結論を出した。その結果を表一1に示す。

これによると、1970～1977年の水位の急激な低下時にはカスピ海への流入量の減少と、湖面からの蒸発量の増加があった。1978年からはカスピ海への地表面流入量は急激に増加し、1990年は全観測期間で2番目の多さとなった。1978～1990年平均では、地表面流入量はカスピ海の蒸発量とカラ・ボガス・ゴル湾への流出量より大きく、平均52km³の流入量は年

間14cmの水位を上昇させることとなった。

70年代の平均では、カラ・ボガス・ゴル湾へのカスピ海からの流出の結果、水位は年間1～2 cm低下した。同湾は1980年にカスピ海から堰止められたが、結果は反対に約3～4 cmの水位上昇を促すこととなった。同湾による1980～1990年の10年間の30～40 cmの水位上昇は、同時期のカスピ海の水位上昇の約24%に相当する。

7. 河川流量変化

現在のカスピ海の水位上昇原因に、冬季の高温と河川流量の増加があるというのがロシアの学者の結論である。それでは、ユーラシア大陸上の河川流量はどのように変化しているのだろうか⁹⁾。

図一4は1951～1980年と1981～1986年の旧ソ連領における河川の年平均流量の変化図である。50年代から70年代にかけては、東シベリア域を中心に流量は多くなっているが、旧ソ連西部のボルガ川・ドニエプル川・ドン川流域では流量はマイナス傾向となっている。

80年代に入ると全国的に流量は増加している。沿ボルガ地方下流域やドン川に隣接したホベル川・ブズルク川等では流量はほとんど変化はないが、ボルガ川上流・中流域の河川は5～30%増加し、ドニエプル川とドン川流域では3～20%増加している。ちなみに、アラル海周辺では南部を中心にマイナスとなっている。

旧ソ連の水文観測網の資料から1951～1986年の年平均流量の変動解析によると、80年代にトレンドの

表一1 カスピ海の水バランズ計算による各年の平均値¹¹⁾。各年の平均量を上段 (km³) と下段 (cm) で表している。ここで、カスピ海の地下水量は年間40km³に一定している。また、1980～1984年のカラ・ボガス・ゴル湾へのカスピ海の流出量は、同湾がカスピ海から堰止められたためにデータはないが、1985年からは年間約1.6km³で計算している。

期 間	水位 (H) 海面基準	流 量	降水量	蒸発量	カラ・ボガス・ ゴル湾への流量	Σ
1900—1929	-26.18	332	70	389	21.8	- 5.7
		82.5	17.3	96.7	5.4	- 1.4
1930—1941	-26.80	269	73	395	12.4	-61.7
		68.3	18.5	100.4	3.2	-15.7
1942—1969	-28.18	285	74	356	10.6	- 3.4
		77.3	20.0	96.4	2.9	- 0.9
1970—1977	-28.64	240	88	375	7.1	-49.9
		66.6	24.3	103.9	2.0	-13.6
1978—1990	-28.08	307	86	343	1.8	52.2
		82.1	23.0	91.8	0.6	13.9

図一 4 1951～1980年と1981～1986年の旧ソ連における年平均流量の変化図⁹⁾。1：1951～1980年の流量変化の境界、2：1951～1980年の流量変化がプラス域、3：1951～1980年の流量変化がプラスあるいは変化なしの領域、4：1950～1980年の流量変化がマイナス域、5：1951～1980年の流量変化がマイナスあるいは変化なしの領域、6：1981～1986年の流量変化がプラス域の南限、7：1981～1986年の流量変化がマイナス域の北限をそれぞれ示す。

変化（増加）が生じている。

8. ボルガ川下流域の状態

旧ソ連の河川流量は全体として80年代に入ってから増加しているということである。しかし、流量増加の中心地域が北部であり、それらは北極海方面に流入しているはずである。そこで1.8節では、具体的にボルガ川下流域のボルゴグラード（図一1参照）水力発電所での河川流量と、同水力発電所から約200 km下流にあるチェルニン・ヤルとペルフニエ・リビヤージェ両水位観測所での氷発生時期（初氷の観測時期）の資料、ボルゴグラード気象観測所での気象解析資料を示す（図一5）¹⁰⁾。

ボルジスキーやカムスキー等の多くの人工貯水池が作られた1960年以降、ボルゴグラード水力発電所の河川流出量は急増した。1881年から1959年の期間と比較すると、1960年から1989年は42%の河川流出量の増加となった。

ボルゴグラード気象観測所での11月から12月の平均気温は、1960年以降は急激に上昇している。その結果、1960年から1989年の平均気温は1881年から1959年の平均気温よりも1.4℃高くなった。

また、河川流出量の増加と気温上昇によりチェルニン・ヤルとペルフニエ・リビヤージェの両水位観測所での氷発生時期は遅れてきた。1960年まではそ

図一 5 チェルニン・ヤル水位観測所での河川流量（上段）と氷発生時期（中段）、ボルゴグラード気象観測所での11月から12月の月平均気温（下段）の偏差の合計をそれぞれ示す¹⁰⁾。

れぞれ11月25日と11月30日であったが、それ以降は両観測所ともに12月17日となり、22日と17日遅くなった。

ボルガ川下流域における河川流量と気候変化が氷の発生時期に影響していることが考えられる。本解析によると、気候要因は氷発生時期の変動の35～45%の寄与率になるということである。

80年代に入ってから河川流量の増加をボルガ川下流域の資料でも確認できるが、カスピ海の水位上昇原因の1つとして、ロシア全土に約千ヶ所存在す

と言われる人工貯水池による流量調節の効果もやはり大きいと考えられる。

実際、カスピ海流域への河川からの流入量は人工貯水池等により調整されている。しかし、それはカスピ海の水位上昇速度を数cm下げただけで、気候変化に起因する水位変動と対比することはできない、と言われる^{10,11)}。

9. 政府機関の対応

カスピ海の水位上昇は旧ソ連領だけではなく、周辺地域の経済活動にも深刻な影響を及ぼしてきている。先に述べた湖北の都市での浸水等もあるが、湖南にあるイランでも深刻のようである。

イランからの報道によると、カスピ海の水位上昇は13年前(カスピ海の水位が上昇に変わった1978年相当する)に始まり、年間13~15cmずつ水位が上昇しているという。これまでに2m近くも湖面が高くなり、この一年間(1991年度)は特に上昇の度合いが著しく、住宅が浸水したり世界の珍味キャビアの生産施設に水が迫ったりしている、ということである。

緊急性を増してきたカスピ海の水位上昇を討議するため、1991年6月3~5日、グーリエフ(カザフ共和国南西部でカスピ海北部の都市)でカスピ海の問題に関する全ソ会議が開催された。旧ソ連水文気象センターの学者・専門家、科学アカデミー、その他の政府関係機関、カスピ海周辺地域の国民経済組織の指導者が会議に参加した。会議では、水位上昇の原因の解析と今後の変動予測、沿岸周辺地域の保護が議題となった¹¹⁾。

カスピ海の水位変動では、水位の長期変動予測が問題となった。その予測に対する責任は旧ソ連科学アカデミーにあるが、カスピ海の水位予測の問題は気温・降水量・雲量等の水文気象要因の超長期予測を行うことにあるため、参加した研究者は現在の科学レベルでは5~10年後の変動予測を正確に行うことはできない、と主張した。

一方、アゼルバイジャン・トルクメン・カザフスタンの各政府は急激なカスピ海の水位上昇の防止に関し、緊急援助供与を旧ソ連政府に求めた。旧ソ連政府経済予測担当大臣は、複合的に差し迫ったカスピ海の水位上昇について、まず住民居住地・採油場・農業適地等の保護について緊急な技術援助が必要なることを強調し閉幕した。

II. 気候予測

1. 気温・降水量予測

第2章ではロシアの気候予測とカスピ海の水位変動の長期予測を示す。

最初に、図-6はロシアの著名な気候学者Budyko M.I.の予想から、1951~1980年を平年値としたときの1995~2005年の地上気温偏差の時系列を示す⁴⁾。

1は気温の年平均値、2は同5年移動平均値、3は予測の中間値、4は予測の50%有意な幅をそれぞれ示し、北半球は上段である。図-6によると、2005年にかけて南半球で気温が一定上昇するのに対して、北半球では1990年末にかけて気温はやや低下するが、その後2005年にかけて上昇することが予想されている。

ここで用いられた予測モデルは、確率的相似群予測手法(probabilistic group-analogue forecast method)と呼ばれるもので、本来二酸化炭素濃度の

図-6 1951~1980年を平均値としたときの、1995~2005年の地上気温偏差の時系列⁴⁾。上図より、北半球・南半球・全球をそれぞれ示す(Budyko M.I.の予想から)。

図一七 最終間氷期の気候最適期と現在との気温差を冬季と夏季で緯度別平均した図²⁾。

増加を取り込んだ短期間の気候変化を予測するモデルであるが、このモデルを南北両半球と全球で走らせ、1995～2005年の地上気温が計算された。

ロシアにおける将来の気候予測については、大気大循環の数値モデルによるシミュレーションよりも類似法（注：古気候復元法で図一六もこれの応用だと思われる）からのアプローチが中心である。それは、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」の第一作業部会によるIPCCへの報告書（1990年8月）にあるように、ロシアが後者の中心であったことにもよると思われる。

古気候復元に伴う不確実性には以下の要素があるが、西側の数値予測モデルと併合することによって全体の予測精度が向上すると考えられる。

1. 過去の気候の復元における不確実性
2. 限られた空間領域の地球規模への拡張における不確実性
3. 過去の気候変化を引き起こした様々な要因の相対的影響度の決定における不確実性

以下に示す解析例はほとんどが古気候復元から得た資料が用いられている。

2.1節では人間活動等の人為的要因により、例として2025年までに2～3℃の全球気温が上昇したとき

の古気候復元の事例を示す²⁾。

時期は約12万5千年前の最終間氷期である。過去の気候復元（気温と降水量）には、主に海洋ではプランクトンの分布を、大陸では植物の分布を用い、これらと気候との間にある関係が数量化された。過去の地勢とある地域に特有な気候の復元には、岩石学・古地理学・古植物学・土壌学・地質学その他のデータが広範囲に用いられた。

最終間氷期と現在との気温差の緯度別平均値を図一七に示す。全球気温は現在よりも1.8℃高かったようである。高緯度での気温上昇が大きく、北半球の夏季の気温は現在よりも1.5℃、南半球では2.0℃高く、北半球の冬季は2.0℃、南半球では1.8℃高かった。

気温上昇の最大はシベリア北部（冬季に10～12℃、夏季に6～8℃）・カナダ北部・グリーンランドにあった。西ヨーロッパや旧ソ連のヨーロッパ中央部では夏季は現在より1～2℃高く、冬季は3～4℃高くなり、年降水量は100～200mm多くなった。

本解析では、炭酸ガスやメタン等の温室効果気体の役割がはっきりしておらず、また中・高緯度での年代の不確実性が残る。しかし、温暖化による雪氷面積の減少は全球の熱的状态に影響を及ぼすアルベ

ド効果を上げ、さらに、温暖化のスケールに応じて両半球の大陸での湿潤状態が改善されることが解析されている。

2. 流量予測

このような気温上昇が流量にどのように影響するのかに関して、図-8と図-9にはVinnikov K.R.とLemeshko N.A.等の夏季の土壤水分含有量と年平均流量の解析結果を示す³⁾。

これは将来の温暖化に伴って地球平均気温が1～2℃上昇したときの見積りである。解析には古気候資料より2つの暖かかった時代が用いられた。1つは地球の平均気温が現在よりも1℃高かった完新

世の気候最適期(A：今から5～6千年前)であり、1つは地球の平均気温が現在よりも2℃高かった最後の間氷期であるミクリンスク間氷期(B：今から12万5千年以上前)である。

解析手法としては、熱と水バランスに関する物理方程式を用い、土壌1m層の水分含有量・土地毎の含水量の臨界値・蒸発率から蒸発量を求め、さらに降水量と土壌1m層での土地の含水量効率等から年間流量が計算された。土壌含水量の臨界値は植生と気候条件により異なり、例えばツンドラ(凍土帯)やツンドラ草原では月平均気温が10℃以下の春秋では170～200mm、月平均気温が10℃以上となる夏季は150mmに設定された。

図-8 現在の夏季の土壤水分含有量と比較したときの変化図(%). (A)は完新世の気候最適期, (B)はミクリンスク間氷期をそれぞれ示す³⁾。

図-9 現在の年間流量と比較したときの変化図(cm). (A)は完新世の気候最適期, (B)はミクリンスク間氷期をそれぞれ示す³⁾。

完新世の気候最適期の気候は、温帯地方では土壌水分含有量は現在よりも少なく、北米の40°N以北の領域とヨーロッパの50°Nの領域に減少するベルトの南限がある。土壌水分含有量のより大きな減少は、ヨーロッパ北部と北米東部で10%以上となり、これは土壌1m層の水分量で1～1.5cmの減少となった。ミクリシスク間氷期では、土壌水分含有量は55～60°N以北では減少しているが、その減少率は前者よりも小さく領域も少なくなっている。ヨーロッパの森林とステップ、その中間の地帯では10～30%土壌水分含有量が増加している。同地域の土壌1m層での水分量が2～2.5cm多かったことを示している。

完新世の気候最適期の年間流量は、ヨーロッパでは45～60°Nの緯度帯で、北米では35～50°Nの緯度帯で減少しており、2～3cm/年に達する。この地帯から南方と北方での年間流量の増加は、ヨーロッパと

しかし、古気候復元資料から4600～6000年前の完新世(現在よりも約 1.2°C 高かった)と 1.4°C 上昇時の予測データを比較すると、全般的に高緯度の減少率は予測よりも小さく、低緯度での増加の予測は反対に減少するという結果となっている。計算値と実況値(古気候復元値)とのギャップはまだ大きいようである。

4. カスピ海の水位変動の長期予測

1892年から1984年の資料より、カスピ海周辺33地点の降水量・気温偏差・ボルガ川に流入した流量とカスピ海の水位との相関関係がそれぞれ求められている。図-11はその結果であるが、統計的処理によりラグ相関が求められており数年後のカスピ海の水位予測が可能となる⁷⁾。

図-11によると、降水量と流量・流量と水位とはともに同時正相関が強いが、4年後に降水量と流量が、5年後には流量と水位との相関が正相関から負相関に変わっている。流量と水位が再び正相関となるのは13年後である。このことより、現在の水位は次第に低下していき、8年後に最低水位となった後、9年後から再び上昇に向かうことが予測できる。

しかし、80年代に入ってから持続的な高温と流量の増加を考えたとき、単純にはいかないようである。

図-12は、古気候復元より全球気温が 1°C 上昇(2000年)したときと、 2°C 上昇したとき(2020年)の冬季と夏季の気温、年間降水量を初期値としてボルガ川・ドニエプル川・ドン川の流量変化を予測したものである¹²⁾。

これらの河川では、全球的な気候の温暖化に伴い冬季の流量は80年代から増加している。図-12によると、3つの河川とも冬季の流量の増加と夏季の減少が共通している。また、2000年にかけて年間流量は一定あるいは減少傾向であるが、2020年にかけては増加傾向となるようである。ここで、流量変化には、気温の上昇により冬季の雪解け量が増える効果が大きく、流量変化には年間降水量よりも気温変動の方がより敏感であるということである。

総合して、カスピ海の水位が今後どのように推移するかについては図-13に示す¹²⁾。

図-13は、1988年を初期値としたときの1989年から2020年までの水位予想である。実際は、1992年度も水位の上昇は続いているが、今後の長期的傾向と

図-11 ボルガ川流域での降水量・気温偏差と流量との相関係数、流量とカスピ海の水位との相関係数⁷⁾。

流量 (mm)

図-12 2000年と2020年の気候変化を古気候から復元し、ボルガ川、ドニエプル川、ドン川の流量変化を季節と年間で予測した図¹²⁾。

図-13 カスピ海の水位の長期予測 (1989~2020年)。1は気候条件が一定下、流域での人間活動度を取り込んだ場合 2は人為的な気候条件下、水文モデルで流量を計算した場合 3は古気候の復元から流量を計算した場合 4は1988年までの水位の実況値をそれぞれ示す¹²⁾。

して参考になると思われる。

手法は、人為的要因が関係した気候変化時(全球気温が上昇した時)と現在の気候状態が継続した時に分類し、前者は主に古気候復元データを、後者は流域での人間活動度が計算に入れられた。

図-13の1は、1880年以降に得られた全ての水バランス要素を経験的手法で統計処理し、かつ現在の気候状態が継続した場合のシナリオである。流域での経済活動が活発になる結果、河川流量は減少し水位も今期間減少することが予測されている。

図-13の2は、水バランス方程式を用いた水文モデルから流量を計算したものである。蒸発量は気温と降水量から計算されている。今世紀末にかけ流量は急激に減少しボルガ川での流量は初期値の8~12%に減少するが、その後は2020年にかけて15%まで増加するようである。特に、2020年には蒸発量は3%の増加が予測されているが、流域での降水量は60%増加し水位は上昇傾向となることが予測されている。

図-13の3は、これまで述べてきた古気候復元から流量を予測し、水位に換算したものである(図-9, 10)。3つのシナリオのうち、水位上昇の度合が一番高めに予測されている。

どちらにしても、ロシアの予測資料では今後カスピ海の水位は現在よりも低下していくことが予測されている。

おわりに

ロシアにおけるカスピ海の水位変動は、周辺の住

民にとって重大な社会問題となっている。私達もその実況を監視していきたいと思う。これまで述べてた要点は以下の通りである。

1. ボルガ川中・上流域での流量の増加が1978年以降のカスピ海の水位上昇の1つの要因となっている。
2. ヨーロッパロシア周辺での80年代に入ってから冬季の高温により河川流量が増加した結果、カスピ海の水位が上昇している。
3. 気候要因以外にも人工貯水池等による河川流量の調整、農業適地開拓(自然改造)も水位上昇に関係していることが考えられる。
4. カスピ海の水位変動の予測については不確定要素は多いが、今後の気温上昇を加味しても数年間は現状維持か水位低下が予想されている。

最後になりましたが、このような機会を与え下さいました東京都立大学増田先生に感謝します。

参考文献

- 1) Блатов А.С., Ведев Д.Л., Косарев А.Н. (1990): О сеишахв Каспийском море, Мет. и Гид., NO. 8. сс. 109~114
- 2) Борзенкова И.И., Зубаков В.А., Лапенис А.Г. (1992): Реконструкции глобального климата теплых эпох прошлого, Мет. и Гид., NO. 8. сс. 25~37
- 3) Винников К.Я., Лемешко Н.А., Сперанская Н.А. (1990): Влагосодержание почвы и сток внетропической части Северного полушария при глобальном потеплении, Мет. и Гид., NO. 3. сс. 5~10
- 4) Груза Г.В., Ранькова Э.Я. (1991): Вероятностный прогноз приземной глобальной температуры воздуха до 2005 г., Мет. и Гид., NO. 4. сс. 95~103
- 5) Кобак К.И., Кондрашева Н.Ю. (1992): Глобальное потепление и природные зоны, Мет. и Гид., NO. 8. сс. 91~98
- 6) Лобанов В.В. (1990): Влияние изменений испарения с поверхности каспийского моря на его будущий уровень, Мет. и Гид., NO. 3. сс. 72~78
- 7) Мешерская А.В., Воробьева Е.К. (1990): Оценка зависимостей между температурно-влажностным режимом суммарным речным притоком в Каспийское море, Мет. и Гид., NO. 9. сс. 78~86
- 8) Педь Д.А., Перевозчикова О.И. (1989): О формировании температуры воздуха зимой на Европейской территории СССР, Мет. и Гид., NO. 8. сс. 5~10
- 9) Семенов В.А., Алексеева А.К. (1989): Региональные особенности климатических изменений стока рек СССР, Мет. и Гид., NO. 9. сс. 91~97
- 10) Солдатов И.И. (1992): Причины изменения сроков появления льда на Нижней Волге, Мет. и Гид., NO. 2. сс. 82~87
- 11) Тренин В.А., Добровольский А.А. (1991): Об изменении уровня Каспия, Мет. и Гид., NO. 11. сс. 123~125
- 12) Шикломанов И.А., Линз Г. (1991): Влияние изменений климата на гидрологию и водное хозяйство, Мет. и Гид., NO. 4. сс. 51~66
- 13) 森広道 (1990): ウインターキルの実況監視について, 日本気象学会関西支部例会, No. 52, PP. 27~34