

気温上昇が流域水循環に与える影響 (2)

田中丸治哉・角屋 睦

EFFECTS OF GLOBAL WARMING ON HYDROLOGICAL CYCLE (2)

By *Haruya* TANAKAMARU and *Mutsumi* KADOYA

Synopsis

The effects of global warming on the hydrological cycle are examined by using the output data from the runoff model identified at the Wajima-Yanagida experimental catchment of 0.15 km² and the Eigenji Dam basin of 132 km².

In this paper, the climate scenarios for cold and warm periods are constructed based on temperature and precipitation records for both the coldest and the warmest decades at meteorological stations located near the study catchments. These climate scenarios are inputted into the Long and Short Terms Runoff Models identified at both basins, respectively and simulated responses for cold and warm climate scenarios are compared. The results suggests that hydrological responses are more sensitive to precipitation changes than to temperature changes excepting the snowmelt season.

1. ま え が き

温室効果気体の増加に伴う地球規模での温暖化は、気温を上昇させるとともに、蒸発散量、降水量、積雪量等を変化させて、流域の水収支や流出現象など流域規模の水循環特性にも影響を与えることが予想される。温暖化が流域水循環に与える影響を明らかにすることは、水資源計画への影響を評価する上で不可欠な課題である。

温暖化による地域規模、流域規模の水循環への影響を検討するにはいくつかの方法があるが^{1, 2)}、最近では流域水循環モデルと気候変化シナリオに基づく評価がよく利用されている。この方法は、温室効果気体の増加による気温、降水量、蒸発散量の変化を想定ないしは推定して、これを流域水循環モデルにシナリオとして入力し、現況と気候が変化した場合の流出特性や水収支特性を比較することによって、温暖化の影響を評価しようとするものである。

ただし、この方法には気候変化シナリオにかなりの不確かさが含まれるという問題点がある。気候変化シナリオとしては、気温や降水量の変化量を任意に設定した仮想的なシナリオ、あるいは気候モデルによって推定された二酸化炭素の倍増状態を想定したシナリオなどが用いられることが多い。しかしながら、仮想的なシナリオには無数の組合せが考えられ、客観的な設定が困難という問題点がある。一方、現在の気候モデルは、空間解像度が粗く、モデル内の個々の物理過程の取扱いがまだ十分でないため、地上気温や降水量変化の地理的分布にはモデルによって大きなばらつきがあり、地域的な気候変化の予測を行うことは困難とされている。このため、気候モデルによるシナリオもかなり不確かな面を含んでいる。

われわれは、前報³⁾において、石川県能登半島の輪島柳田流域および滋賀県愛知川上流の永源寺ダム流域を対象として、上述の仮想的な気候変化シナリオに基づく気温上昇の影響評価を試みた。そこでは、2

～4℃の気温上昇およびそれに降水量変化を伴ういくつかの気候変化シナリオを設定して、これを両流域において同定された長短期流出両用モデルに入力し、現況との比較によって、温室効果気体の増加に伴う気温上昇が流域水循環に与える影響について検討している。

本報告では、まずこれらの流域の近くに位置する気象官署の気象資料に基づいて過去の寒冷な時期と温暖な時期を選定し、その間の気温、降水量資料より寒冷期と温暖期の気候シナリオを設定した。次いで、これを両流域で同定されている長短期流出両用モデルに入力して、寒冷期と温暖期の水循環特性を比較し、その結果に基づいて、気温上昇とそれに伴う降水量変化の影響について考察した。

2. 対象流域と解析資料

2.1 輪島柳田流域

(1) 流域の概要

輪島柳田流域は、石川県柳田村の輪島柳田農地開発地区近傍の丘陵林地に農林水産省によって設けられた小試験流域である (Fig. 1)。流域面積は0.147 km²で、松、杉の植林地が全流域面積の69%を占め、残りは雑木林等である。地質は主に安山岩溶岩からなる。流域平均標高は250 mであり、冬期にはかなりの積雪がみられる。流域末端には、直角三角堰、水位計および雨量計が設置されており、流量および降水量の観測が行われている。

(2) 解析資料

解析期間は、1981年5月～1989年4月の8年間とする。前半の4年間は、12～3月の観測が行われていなかったが、1985年12月から降水量、流量ともに年間を通して観測されている。なお、当流域では、秋期・冬期の降水量がかなり多く、この期間が渇水期にならないこと、遅くとも4月末日には融雪が完了するとみられること等の理由から、5月1日～翌年4月30日を1水年とする。以下、輪島柳田流域に関する検討は、すべてこの水年によるものとする。

解析には、時間単位ないし10分単位(17出水時)の降水量、流量資料を用いる。積雪期である12～3月の降水量は、前半の4年間は欠測であり、後半の4年間についても、水収支からみて降水量が明らかに過小と思われる年があり、積雪期の降水量観測(溶液式雨雪量計による)にやや問題があると思われた。そこで、同期間の降水量は、流域から13 km離れた輪島測候所で観測された日降水量資料に割増係数を掛けて推定することにした。割増係数には、水収支に基づいて推定された1.35を採用している。

積雪量、融雪量の推定には、菅原の方法⁴⁾を用いる。ただし小流域であるから、流域の標高分割は行わない。降水が雪か雨かを判断する気温には、ここでは2℃を採用している。流域の気温は、輪島測候所の日平均気温を用いて、流域と輪島測候所の標高差を考慮して推定する。

蒸発散量の推定に際しては、輪島測候所の日単位気象資料を用いて、Penman式⁵⁾によってまず水面蒸発量を推定する。流域蒸発散量は、得られた日単位の蒸発量を年間一定の蒸発散比を掛けて推定する。蒸発散比には、とくに冬期の降水量、流量に欠測が多いことを考慮して短期水収支法によって推定された

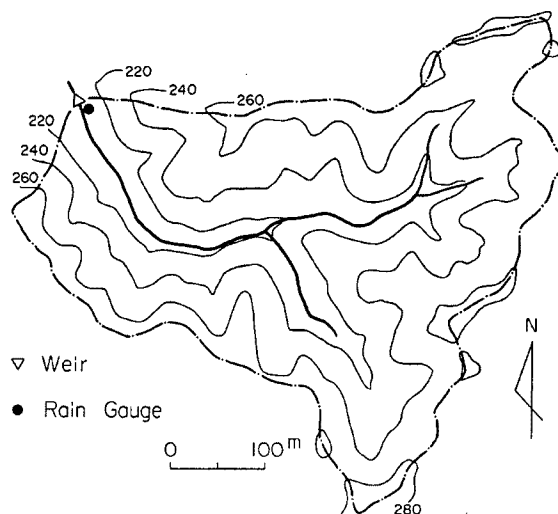


Fig. 1. Wajima-Yanagida catchment.

0.78を採用している。

2.2 永源寺ダム流域

(1) 流域の概要

永源寺ダム流域（Fig. 2）は、滋賀県東部を西流して琵琶湖に流入する愛知川の上流部に位置する。この流域の面積は131.5 km²、主河道長は約25 kmで、ほぼ全域が山林であり、広葉樹林が79.6 km²で全流域面積の60%、杉を主体とする針葉樹林が42 km²で32%を占めている。またこの流域の2/3は、粘板岩地帯（古生層）であるが、鈴鹿山脈に沿う東部や下流の一部に風化花崗岩地帯（中生層）がみられる。ダム地点の標高は280 m、流域内最高点は1238 m、流域平均標高は705 mである。流域の南東部、とくに御在所山付近は多雨地帯で有名であり、冬期には流域全体に積雪がみられる。

(2) 解析資料

解析には、1974年10月～1989年12月の約15年間の資料を用いる。流量資料には、日平均ダム流入量および如来堂地点（流域面積110 km²）の毎時流量（33出水時）を用い、降水量資料には、流域内6雨量観測点の日降水量および洪水時の時間降水量を用いる。なお、Fig. 2に示したA～Fの雨量観測点の内、D・E・Fの3地点は、1980年8～10月に設置されたため、1974～1980年の記録が得られていない。さらに、これら3地点には融雪ヒーターが取り付けられていないため、1980年以降も積雪期の12～3月の降水量は欠測となる。そこで、これら欠測期間の降水量は、欠測でない地点の降水量に割増係数を掛けて推定し、全期間の降水量資料を補完する。

流域平均降水量の推定には、以下に示す方法⁶⁾を採用する。

① 流域を標高別に4地帯分割し、標高の低い方から順に第1～第4地帯とする。

② 第1、第2地帯の降水量として、それらの地帯に含まれているA～Dの4地点の算術平均値を採用する。同様に、第3、第4地帯の降水量として、E・Fの2地点の算術平均値を採用する。さらに各地帯別降水量を地帯面積により加重平均する。

各地帯の積雪量、融雪量の推定には、菅原の方法⁴⁾を用いる。降水が雪か雨かを判断する気温には、ここでは0℃を採用している。各地帯の気温は、ダム地点の日最高および日最低気温を平均して求めた日平均気温を基準として、標高を考慮して推定する。

蒸発散量の推定に際しては、彦根気象台の月平均全日射量と月平均気温を用い、日射量法の一つであるMakkink式⁷⁾によってまず計器蒸発量（月平均日蒸発量）を推定する。流域蒸発散量は、流域平均降水量から降雨日・無降雨日と判断して係数 α を定め、これを先の蒸発量に乗じて推定する。係数 α は、水収支がバランスするように試算し、無降雨日について $\alpha=1$ 、降雨日について $\alpha=0.6$ を採用している。

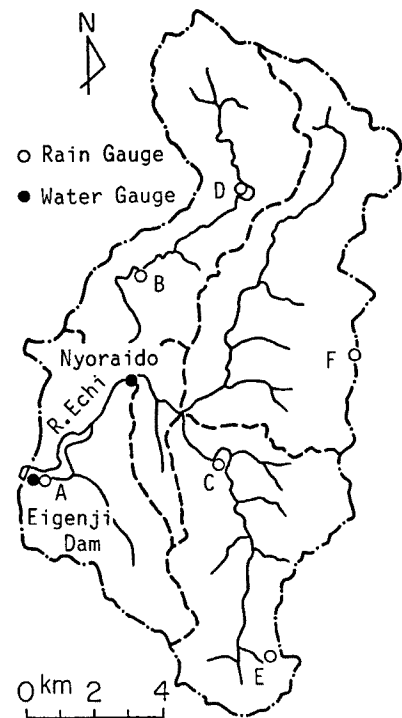


Fig. 2. Eigenji Dam basin.

3. 流出モデルとその適用結果

3.1 長短期流出両用モデル

長短期流出両用モデルは、3段4層のタンクからなる貯留型モデルで、洪水時の有効降雨を自動的に推定でき、かつ洪水・低水流出を同時に連続して扱えるという特長を持っている。ここでは、現在のところ最良に近いと考えられる Fig. 3 の LST-II⁸⁾を採用する。

このモデルでは、各タンクの微分貯留方程式を修正 Euler 法で数値的に解いており、計算時間刻み Δt を自由に変更できる。本研究では、雨天日または $S_1 > 0$ のときは $\Delta t \leq 1$ 時間、その他の場合は $\Delta t = 24$ 時間を採用している。

また、初期水深を含めて14個ある未知定数の最適同定には SP 法⁹⁾を適用し、最適モデル定数を求めるための評価基準には、最小 χ^2 誤差評価基準を用いる。

3.2 流出モデルの適用結果

(1) 最適モデル定数

輪島柳田流域への長短期流出両用モデルの適用に際しては、とくに降雨遮断モデルと不浸透域モデルを導入しているが、これらに含まれる未知定数には、試行的に定めたものを採用している。

長短期流出両用モデルの未知定数は、輪島柳田流域では、欠測の少ない1985年5月～1989年4月の4年間の資料を用いて同定した。また、永源寺ダム流域では、6地点の雨量観測点が整備された後の1981～1982年の2年間の資料を用いて同定した。このようにして得られた両流域の最適モデル定数を Fig. 4 に示す。

(2) 流出モデルの再現性

輪島柳田流域では、得られた最適モデル定数を用いて1981年5月～1989年4月の8年間連続の検証計算を行った。検証計算時の初期水深は未知であるから、同定期間の初期水深、すなわち1985年5月1日の水深で代用した。また永源寺ダム流域では、1974年10月～1989年12月の約15年間連続の検証計算を行った。この流域においても検証計算時の初期水深は未知であるから、同定期間の初期水深、すなわち1981年1月1日の水深で代用した。

この検証計算によると、日流出高の相対誤差は、輪島柳田流域では8年間の平均で23.9%、永源寺ダム流域では15年間（1975～1989年）の平均で29.6%となり、永源寺ダム流域の相対誤差がやや大きい。水収支的には両流域ともに問題がないことが確かめられている。なお、月流出高の相対誤差を調べると、輪島柳田流域では平均14.9%、永源寺ダム流域で平均19.5%であり、いずれもほぼ良好な結果といえる。

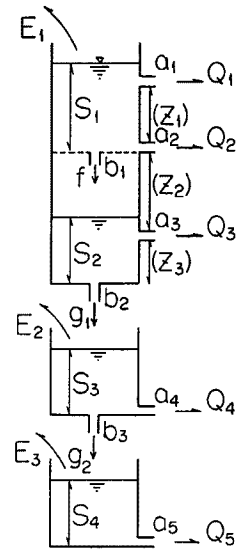
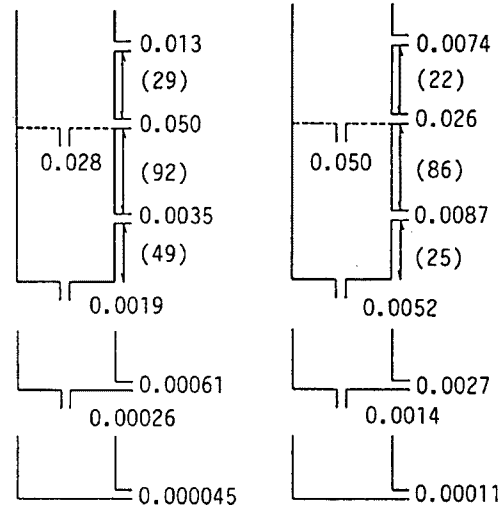


Fig. 3. LST Model.



(a) Wajima-Yanagida catchment

(b) Eigenji Dam basin

Fig. 4. Identified parameters (mm-h unit).

4. 気候シナリオ

4.1 気温と降水量の変動傾向

(1) 解析資料

輪島柳田流域および永源寺ダム流域に比較的近く、かつ長い期間の観測が行われている気象官署として金沢、伏木、彦根、京都の4地点を選び、これら気象官署の観測資料に基づいて、まず気温と降水量の長期的な変動傾向について調べた。解析には、4地点の観測開始から1990年までの年平均気温、年降水量の資料を用いたが、後で述べる気候シナリオの設定に際しては、月平均気温、月降水量の資料も利用した。これらの資料は、本邦累年気候表¹⁰⁾、日本気象総覧¹¹⁾、気象庁年報、金沢地方気象台編の創立百年誌¹²⁾より収集した。

なお、輪島柳田流域の近くには輪島測候所があるが、観測期間が60年程度とやや短いことから、ここでの検討には、より観測期間が長い金沢と伏木（富山県高岡市）の資料を用いることにした。また、金沢では1908年、伏木では1892年と1909年、京都では1913年に観測地点の位置に移動があり、観測値がその影響を受けているものと思われるが、これについてはとくに考慮していない。

(2) 気温の変動傾向

Fig. 5に4地点の年平均気温とそれらの10年移動平均値を示す。図に挿入した水平線は、平年値（1961～1990年の平均値）を表している。これによると、金沢・伏木・彦根の年平均気温は、次のようなほぼ類似した変動傾向を示していることが分かる。すなわち、1910年頃に最も低温になり、その後やや上昇ないしは横ばいで推移したが、1940年代から上昇傾向が明確になり1960年頃に最も高温になった。その後は1970年頃まで下降するが、1970年代以降は横ばいないしはやや上昇で推移している。一方、京都の年平均気温は、1910年頃に最も低温になった後、1970年頃までほぼ単調に上昇してきており、1970年代以降は横ばいないしはやや上昇気味で推移している。いずれにしても、過去100年間程度の年平均気温の変動は、ほぼ上昇傾向にあるといえよう。

Table 1に年平均気温の時間変化の一次回帰式から求めた気温上昇率（℃/年）を示す。4地点とも気温上昇率は正值であり、気温が上昇傾向にあることが示されている。さらに、どの地点の気温上昇率も危険率1%で有意であった。なお、金沢と伏木は、比較的近い位置にあるにもかかわらず気温上昇率にかなりの差があり、金沢の気温上昇率は伏木のその1.8倍になっている。これは京都と彦根についても同様であって、京都の気温上昇率は彦根のその2.5倍にもなっている。これは、金沢や京都では、都市の拡大発達に伴う人為的な気温上昇が、気候変化に伴う自然的な気温上昇に上乗せされているためと考えられる。

福井¹³⁾は、大都市や急速に発展している都市Aと、Aと同一の気候区内にあり、かつ相互の距離があまり大きくないこと等の条件を満たす小都市Bを選んで比較すれば、両地点の気温差の変化がほぼ都市の拡大発達の影響を表すとしている。金沢と伏木、京都と彦根の組合せは、都市AとBの具備すべき条件をほぼ満たしていることから、両地点間の気温上昇率の差を求めてみると、金沢と伏木の差は0.0050℃

Table 1. Temperature increase rates and precipitation change rates

Location	Period of observations	Sample size	Temperature increase rate (°C/year)	Precipitation change rate (mm/year)
Kanazawa	1886～1990	105	0.0116	0.87
Fushiki	1886～1990	105	0.0066	1.47
Hikone	1894～1990	97	0.0084	-0.89
Kyoto	1881～1990	110	0.0206	0.33

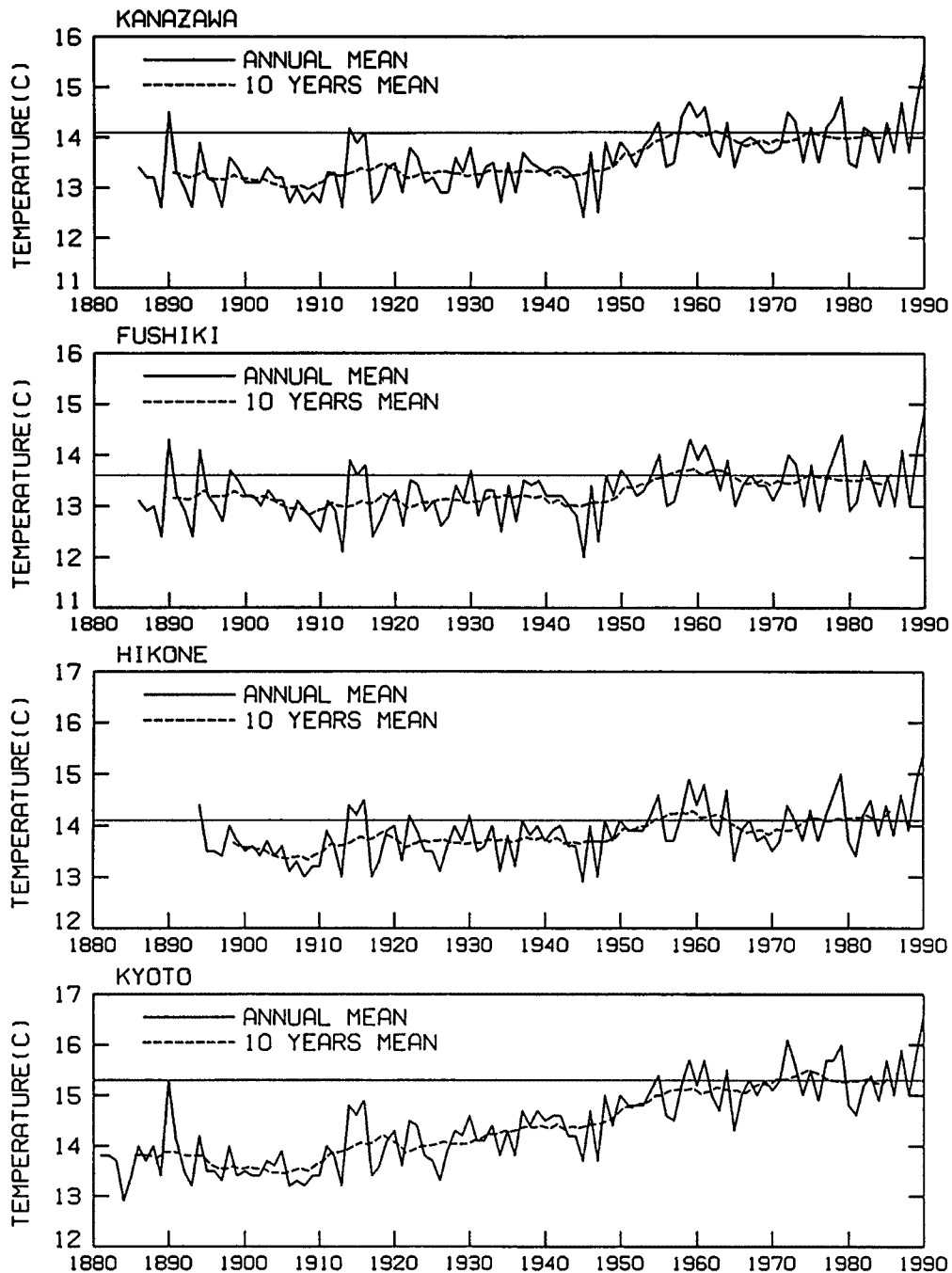


Fig. 5. Variations in annual mean temperature at Kanazawa, Fushiki, Hikone and Kyoto.

/年, 京都と彦根の差は $0.0123^{\circ}\text{C}/\text{年}$ であった。

(3) 降水量の変動傾向

Fig. 6 に 4 地点の年降水量とそれらの 10 年移動平均値を示す。図に挿入した水平線は、平年値を表している。これによると、各地点の年降水量の変動傾向はほぼ類似しており、1900～1910 年頃に多雨、

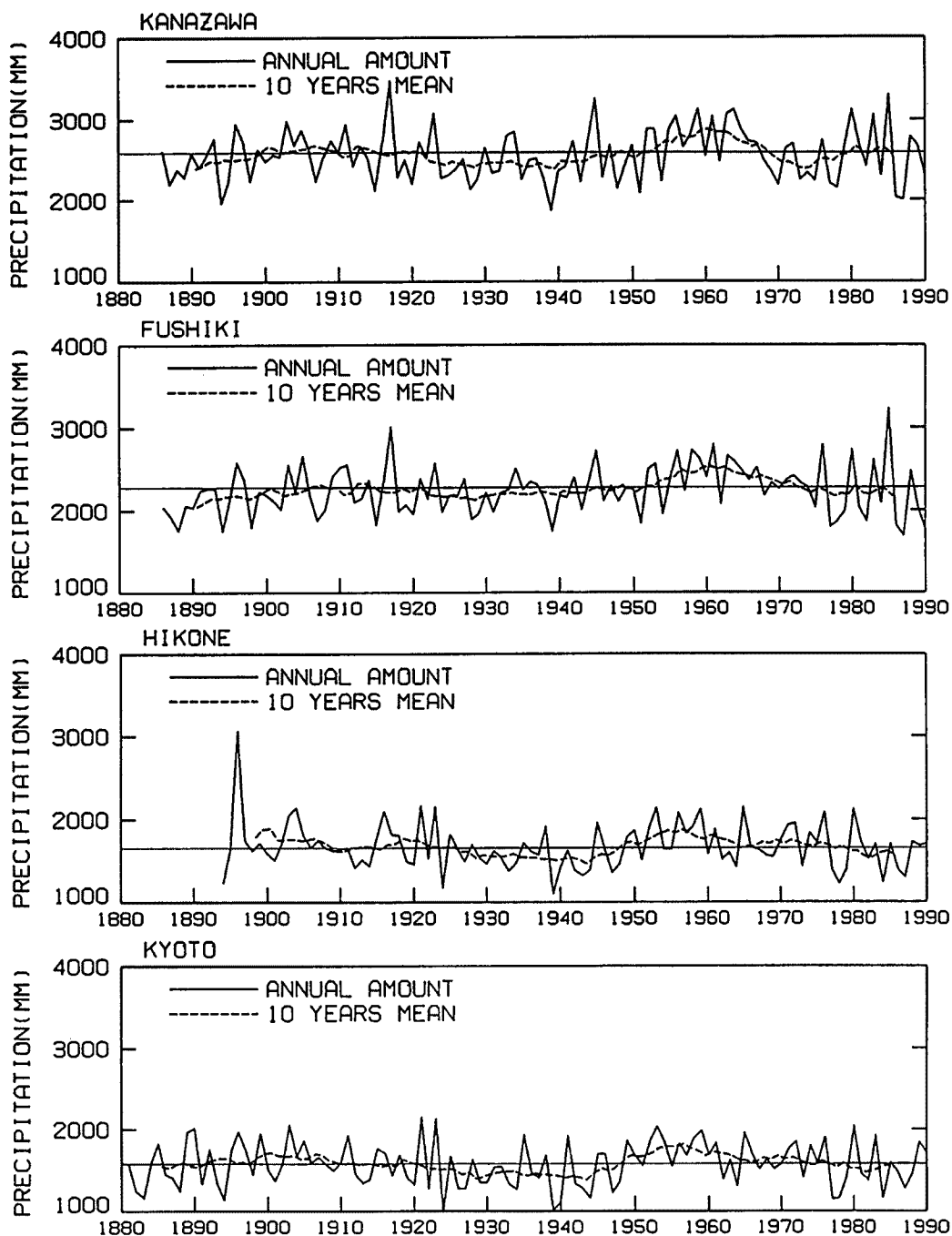


Fig. 6. Variations in annual precipitation at Kanazawa, Fushiki, Hikone and Kyoto.

1930～1940年頃に少雨，1950年代中頃ないしは1960年頃に多雨となり，1960年頃から最近にかけては，減少ないしは横ばいで推移している。

Table 1 に年降水量の時間変化の一次回帰式から求めた降水量変化率（mm/年）を示す。金沢，伏木，京都の降水量変化率は正值，彦根のそれは負値であるが，どの地点の降水量変化率も危険率 5% で有意

ではなく、これらの変動傾向は統計的に有意とはいえない。

なお、年平均気温と年降水量との相関係数を求めると、4地点とも0に近くほとんど相関はみられなかった。また、10年移動平均値についての相関係数は、金沢が0.42、伏木が0.56、彦根が0.16、京都が0.14となり、金沢と伏木にやや正の相関がみられる程度であった。この結果を見る限りでは、気温と降水量の間には、明確な関係は見出しにくい。

4.2 寒冷期と温暖期の気候シナリオ

ここでは、先に概観した気温と降水量の変動傾向に関する検討結果を踏まえて、気象官署の観測資料に基づいて過去の寒冷な時期と温暖な時期を選定し、その間の気温、降水量資料より寒冷期と温暖期の気候シナリオを設定することを試みた。なお、輪島柳田流域に対する気候シナリオの設定には伏木の資料を、永源寺ダム流域に対する気候シナリオの設定には彦根の資料を用いることにした。伏木と彦根の資料を用いたのは、これらの気象官署が金沢、京都よりも対象とする流域にそれぞれ近いこと、および、金沢や京都にみられるような都市の拡大発達の影響が小さいと考えられたためである。以下、寒冷期と温暖期の気候シナリオの設定方法について述べる。

まず、年平均気温の10年移動平均値に基づいて、最も寒冷な10年間と最も温暖な10年間を抽出すると、伏木、彦根ともに寒冷期は1904～1913年、温暖期は1955～1964年となった。なお、寒冷期と温暖期における年平均気温の期間平均値は、伏木ではそれぞれ12.8℃、13.7℃、彦根ではそれぞれ13.3℃、14.3℃であった。これらの期間については、月平均気温、月降水量の資料に基づいて、季節別平均気温、季節別降水量の期間平均値を求めておく。

一方、伏木については、輪島柳田流域の解析対象期間である1981年5月～1989年4月の8年間を、彦根については、永源寺ダム流域の解析対象期間である1975～1989年の15年間を現況として、この期間についても季節別平均気温、季節別降水量の期間平均値を求めておく。なお、現況における年平均気温の期間平均値は、伏木では13.5℃、彦根では14.2℃であり、両地点とも温暖期の期間平均値にかなり近い。

次いで、現況と寒冷期、温暖期との気温差および降水量差（現況の降水量で基準化して%単位で表示したもの）を季節別に求め、これを現況の気温、降水量資料を寒冷期、温暖期における気温、降水量資料に変換するための気候シナリオとした。このようにして求められた気候シナリオをTable 2に示す。Table 2においてDJFは12～2月、MAMは3～5月、JJAは6～8月、SONは9～11月を表している。

これらの気候シナリオに対応する各流域の気温、降水量資料は、輪島柳田流域では8年間、永源寺ダム流域では約15年間の気温、降水量の既往観測資料に、気温、降水量の変化量（Table 2）をそれぞれ加えたものとする。こうした扱いは前報と同じであるが、前報のシナリオにおいては、気温や降水量の変化

Table 2. Climate scenarios for cold and warm periods

			DJF	MAM	JJA	SON
Wajima-Yanagida catchment	Cold period	ΔT	-0.2	-0.9	-0.9	-0.7
		ΔP	+9	+9	-2	-4
	Warm period	ΔT	+0.2	+0.2	+0.2	+0.4
		ΔP	+28	+14	+15	-3
Eigenji Dam basin	Cold period	ΔT	-0.1	-0.9	-1.1	-1.2
		ΔP	+14	-3	0	+15
	Warm period	ΔT	+0.2	+0.1	+0.1	0.0
		ΔP	+9	-1	+19	+11

ΔT : Temperature change (°C), ΔP : Precipitation change (%)

量が年間を通して一定とされていたのに対して、ここでは変化量が季節別に設定されている。

一方、蒸発散量は、輪島柳田流域においては Penman 式、永源寺ダム流域においては Makkink 式に基づいて推定されている。そこで、気候シナリオに対応する蒸発散量は、上述の変化量を加えた気温資料を用いて両式によって推定したものとし、全天日射量、風速、相対湿度には、変化がないものと仮定する。

5. 寒冷期と温暖期の水循環特性の比較

5.1 検討方法

対象流域における寒冷期と温暖期の水循環特性を比較するため、まず現況および寒冷期と温暖期の気候シナリオに対応する気温、降水量、蒸発散量をすでに同定検証済みの長短期流出両用モデルにそれぞれ入力して、輪島柳田流域では8年間、永源寺ダム流域では約15年間の流出計算を行う。次いで、それぞれの計算結果に基づいて、水深換算積雪量、月流出高、年間水収支を比較する。ここでは、原則として寒冷期と温暖期との比較を行い、その結果に基づいて、気温上昇およびそれに伴う降水量変化の影響について考察するが、水深換算積雪量等の計算結果には現況のものも提示する。これらの比較に際しては、前報と同じく輪島柳田流域では8年間、永源寺ダム流域では15年間（1975～1989年のみ）の平均値で比較することにした。なお、気候シナリオに基づく流出計算においても、モデルの初期水深には、現況の初期水深、すなわち検証計算で用いたものをそのまま用いることにする。

5.2 検討結果

(1) 水深換算積雪量

菅原の方法によって推定された毎日の水深換算積雪量に基づいて、まず旬平均の水深換算積雪量を求め、さらにこれを旬別に解析年数で平均して、寒冷期と温暖期の気候シナリオによる積雪量を比較した。永源寺ダム流域では、標高別に分割された第1～第4地帯の積雪量がそれぞれ推定されているが、ここでは最も標高が高く積雪量が多い第4地帯（代表標高980m）について比較することにした。

輪島柳田流域の積雪量を Fig. 7 に、永源寺ダム流域の第4地帯の積雪量を Fig. 8 に示す。これらの図において、BASE は現況、COLD は寒冷期、WARM は温暖期を示しており、これは以下に提示するすべての図表について同様とする。

これによると、輪島柳田流域では、温暖期の方が寒冷期よりも積雪量のピークがやや大きくなっている。細かくみると、積雪開始から3月上旬までは寒冷期よりも温暖期の方が、3月中旬から消雪までは逆に温暖期よりも寒冷期の方が積雪量が多い。また積雪量のピークは、寒冷期は3月上旬であるが、温暖期は2月下旬になっている。温暖期の方が寒冷期よりも積雪量が多いというのはやや意外であるが、これは、ここで採用した気候シナリオによれば、寒冷期と温暖期との冬期の気温差があまり顕著ではないことと、温暖期の方が冬期の降水量がかなり多いことによる。この結果は、気温上昇量が小さいときは、降水量増加による積雪量増加の効果が気温上昇による積雪量減少の効果を上回り、温暖化しても積雪量が増加する場合があることを示している。

一方、永源寺ダム流域では、温暖期の方が寒冷期よりも全積雪期間を通して積雪量が少なく、輪島柳田流域とは逆の結果となっている。これは、気温上昇による積雪量減少の効果に加え、この流域では、温暖期の方が寒冷期よりも冬期の降水量がやや少なくなっているためである。また積雪量のピークは、寒冷期は3月上旬であるが、温暖期は2月下旬になっており、輪島柳田流域と同様、温暖期の方が積雪量のピークが早く生じている。

(2) 月流出高

平均月流出高を求め、寒冷期と温暖期の気候シナリオによる月流出高を比較した。輪島柳田流域の月流

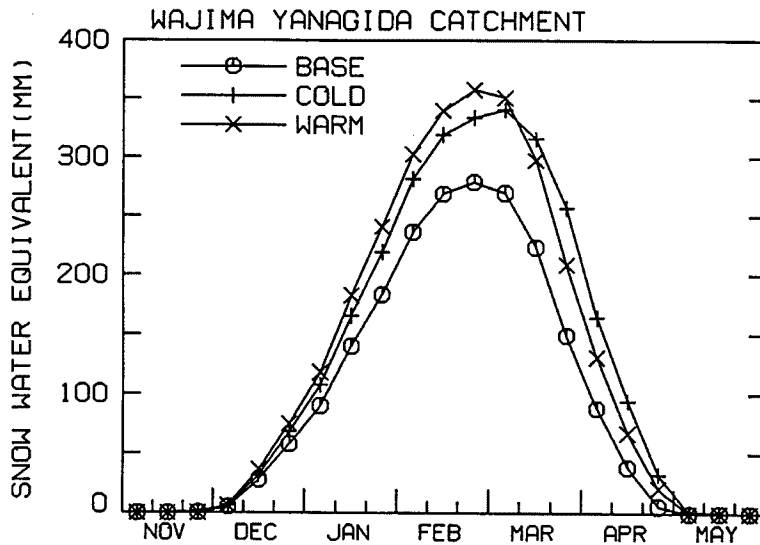


Fig. 7. Simulated average snow water equivalent for present climatic conditions and for two climate scenarios in Wajima-Yanagida catchment.

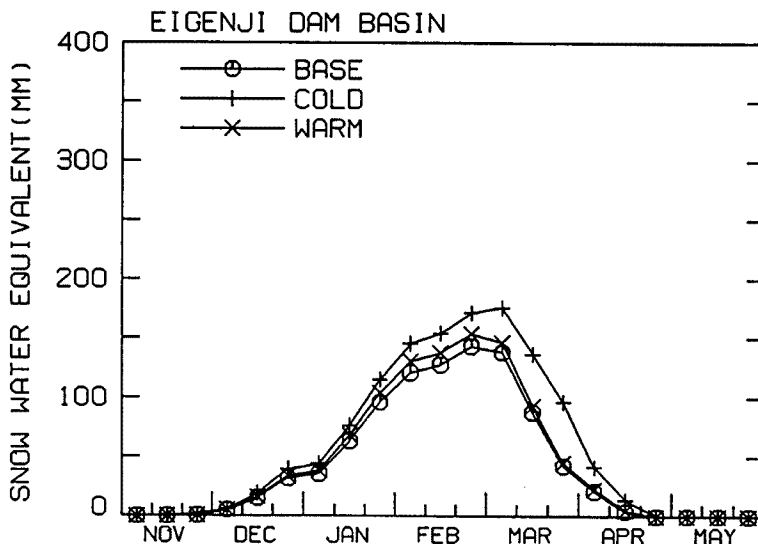


Fig. 8. Simulated average snow water equivalent for present climatic conditions and for two climate scenarios in Eigenji Dam basin.

出高を Fig. 9 に示し、永源寺ダム流域の月流出高を Fig. 10 に示す。

輪島柳田流域では、温暖期の降水量がほぼ年間を通して寒冷期よりも多いことから、多くの月で温暖期の流出高が寒冷期のそれを上回っている。とくに、春期、夏期、冬期にみられるピークは、いずれも温暖期の方が寒冷期よりも大きい。なお、融雪流出によるピークは、寒冷期では4月にみられるのに対して、温暖期では3月にみられる。これは、気温上昇に伴って融雪が早期化したためである。このため、4月と5月のみ温暖期の方が寒冷期よりも流出高が若干小さくなっている。

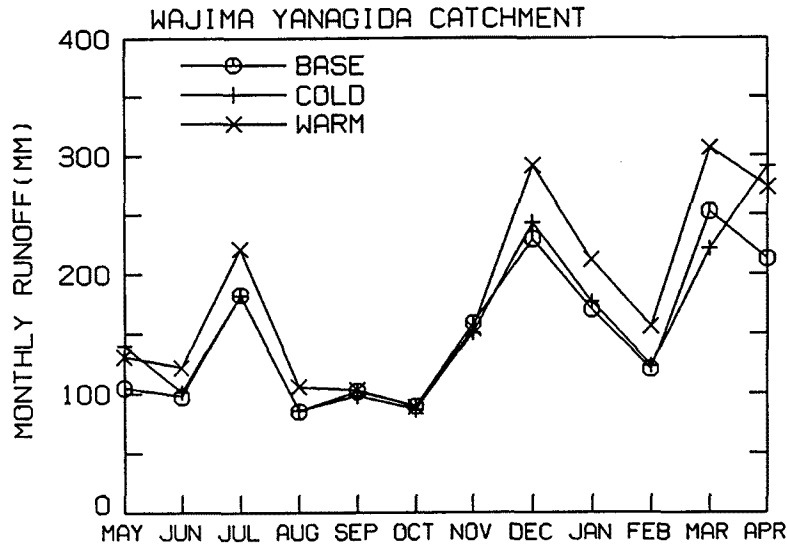


Fig. 9. Simulated average monthly runoff for present climatic conditions and for two climate scenarios in Wajima-Yanagida catchment.

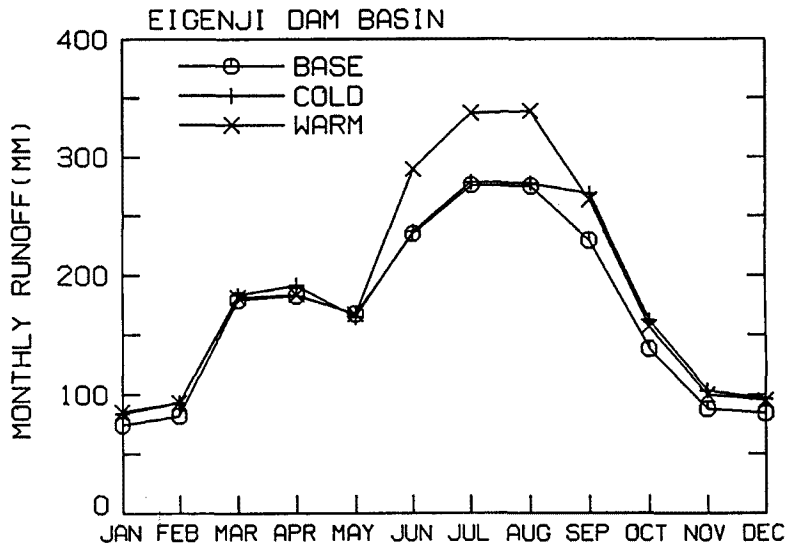


Fig. 10. Simulated average monthly runoff for present climatic conditions and for two climate scenarios in Eigenji Dam basin.

一方、永源寺ダム流域では、温暖期の6～8月の降水量が寒冷期のそれよりもかなり多いため、この期間の流出高は、温暖期の方が寒冷期よりも多くなっているが、他の月については寒冷期と温暖期の差は小さい。永源寺ダム流域でも、融雪による小ピークがみられるが、温暖期の方が寒冷期よりも若干小さい程度で、あまり差はみられない。

結局、気温上昇が流出波形に与える影響は、輪島柳田流域において融雪流出のピーク位置が移動した点にみられるが、融雪期を除けば、寒冷期と温暖期の流出パターンの違いは、両期間の降水パターンの違い

Table 3. Simulated average annual evapotranspiration and runoff for present climatic conditions and for two climate scenarios

	Climate scenarios	ΣP	ΣE	ΣQ
Wajima-Yanagida catchment	BASE	2502	676	1803
	COLD	2585	659	1897
	WARM	2876	680	2162
Eigenji Dam basin	BASE	2592	578	2011
	COLD	2706	563	2139
	WARM	2874	578	2290

ΣP : Average annual precipitation (mm)

ΣE : Simulated average annual evapotranspiration (mm)

ΣQ : Simulated average annual runoff (mm)

に起因している。

(3) 年間水収支

年降水量, 年蒸発散量, 年流出高の平均値をそれぞれ求め, 寒冷期と温暖期の気候シナリオによる年間水収支を比較した。

両流域の年間水収支を **Table 3** に示す。寒冷期と温暖期の水収支を比較すると, 輪島柳田流域では, 年蒸発散量は温暖期の方が寒冷期より 21 mm 多いが, 年降水量も温暖期の方が寒冷期より 291 mm 多い。また永源寺ダム流域でも, 年蒸発散量は温暖期の方が 15 mm 多いが, 年降水量も温暖期の方が寒冷期より 167 mm 多い。このため, 年流出高は, 当然のことながら両流域とも温暖期の方が寒冷期よりかなり多くなっている。寒冷期と温暖期の年降水量の違いは, 約 1°C の気温上昇に伴う年蒸発散量の増加量よりも 1 オーダー大きい。これより, 水収支に与える影響は, 気温上昇よりも降水量変化の方がはるかに大きいことが分かる。

6. あとがき

本報告では, まず輪島柳田流域および永源寺ダム流域の近くに位置する気象官署の気象資料に基づいて, 過去の寒冷な時期と温暖な時期を抽出するとともに, それらの期間の気温, 降水量資料より寒冷期と温暖期の気候シナリオを設定した。次いで, これを両流域で同定されている長短期流出両用モデルに入力して, 寒冷期と温暖期の水循環特性を比較し, その結果に基づいて, 気温上昇とそれに伴う降水量変化の影響について考察した。得られた結果を総括すると次のようである。

1) 永源寺ダム流域では, 温暖期の方が寒冷期よりも全積雪期間を通して積雪量がやや少ない。一方, 輪島柳田流域では, 温暖期の方が寒冷期よりも最大積雪量がやや大きい。この結果は, 気温上昇量が小さいときは, 降水量増加による積雪量増加の効果が気温上昇による積雪量減少の効果を上回り, 温暖化しても積雪量が増加する場合があることを示している。

2) 気温上昇が流出波形に与える影響は, 輪島柳田流域において融雪流出のピーク位置が移動した点にみられるが, 融雪期を除けば, 寒冷期と温暖期の流出パターンの違いは, 両期間の降水パターンの違いに起因している。

3) 寒冷期と温暖期の年降水量の違いは, 約 1°C の気温上昇に伴う年蒸発散量の増加量よりも 1 オーダー大きい。すなわち, 水収支に与える影響は, 気温上昇よりも降水量変化の方がはるかに大きい。

以上の結果は、温暖化の流域水循環への影響評価に際して、気温上昇に伴う降水量変化の見積りがとくに重要であることを示唆している。

なお、本研究の対象流域の一つである輪島柳田流域は、農林水産省の「農地造成基礎諸元調査」の一貫として設置された試験流域である。同流域の観測は、北陸農政局計画部資源課によって行われたことを記すとともに、資料を提供して頂いた同資源課の関係者各位に深謝の意を表す。また、滋賀県永源寺ダム管理事務所から資料の提供その他多くの援助を受けたことを記し、関係者各位に深謝の意を表す。本研究は、文部省科学研究費（奨励研究（A））の援助を受けたこと、計算には、京都大学大型計算機センターのFACOM M-1800/30を利用したことを付記する。

参考文献

- 1) Gleick, P.H.: Climate change, hydrology, and water resources, *Reviews of Geophysics*, 27-3, 1989, pp.329-344.
- 2) 吉野文雄：地球温暖化による水文循環への影響予測，土木学会誌別冊増刊，第75巻第5号，1990，pp.18-21.
- 3) 田中丸治哉・角屋 睦：気温上昇が流域水循環に与える影響，京大防災研年報，第34号B-2，1991，pp.189-207.
- 4) 菅原正巳：流出解析法，共立出版，1972，pp.161-167.
- 5) Penman, H.L.: *Vegetation and Hydrology*, Tech. Commun. No.53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, England, 1963, pp.40-43.
- 6) 角屋 睦・田中丸治哉・永井明博・金口正幸：愛知川上流域への長短期流出両用モデルの適用と実時間洪水予測，水資源研究センター研究報告，第9号，1989，pp.45-60.
- 7) Brutsaert, W.H.: *Evaporation into the atmosphere*, D. Reidel Pub. Company, 1982, pp.222-223.
- 8) 角屋 睦・永井明博：長短期流出両用モデルの開発改良研究，農業土木学会論文集，第136号，1988，pp.31-38.
- 9) 永井明博・角屋 睦：流出モデル定数の最適化手法，京大防災研年報，第22号B-2，1979，pp.209-224.
- 10) 農業技術協会：本邦累年気候表，1954.
- 11) 高橋浩一郎監修：日本気象総覧（上巻），東洋経済新報社，1983.
- 12) (財)日本気象協会北陸センター：金沢地方気象台編 創立百年誌，1982.
- 13) 福井英一郎：日本における最近の気温上昇，地理学評論，41-8，1968，pp.477-490.