

論文内容要旨

第1章 序 論

河川水温の研究は、各国の異なる社会的背景のもとに行われ、日本では水稻収量に及ぼす灌漑水の低温の作用が問題とされてきた。しかし、いずれにおいても河川の上流から下流までの水温分布およびその変化という河川水温の現象構造を明らかにした調査・研究は少ない。

本研究では中河川と大河川における水温の測定と用水路における実験的観測から、水温日変形を分類・系列化し、流速と水温を関連させて水温日変化型の現われる現象構造を検討した。さらにモデルによる水温日変化の計算を通して、流下に伴う水の温度変化が地形に大きく影響され、河川に沿う地形の配列により水温日変化型の基本的配列系ができ、この配列が支流の影響や水位・日照の変化の影響を受けて変動することを考察した。

第2章 中河川における水温日変化

中河川の例として名取川をとりあげ、源流から9km下流を起点に約10km毎に S_1, S_2, S_3, S_4 の測点を設けて水温と気温を測定した。これによると、日最低水温(以下最低水温)は下流ほど高く、日最高水温(以下最高水温)は S_3 で最高になることが多いが、高水位や曇天日には下流ほど高い。最低水温の最頻出現時刻は上流で早朝で下流で幾分遅くなるに止るが、最高水温の場合には下流ほど遅く、それぞれ13時半、15時半、16時半、20~22時であり、 S_4 で顕著である。しかし、曇天日には S_4 で17時である。これらの現象を流下に伴う水の温度変化と関連させて検討した。晴天日に S_4 を20時に通過する水は S_1-S_3 区間を日射が強く気温の高い時間帯に大きく昇温しながら流下し、 S_3-S_4 区間は夕刻にわずかに低下しながらも前後の水塊より相対的に暖い水塊として流下する。曇天日に S_4 を17時と20時に通過する水塊は、 S_1-S_3 区間をわずかに昇温して流下するが、昇温量は等しい。 S_3-S_4 区間は17時水塊が日中の流下なのに対して20時水塊は夕刻であり17時の水塊が暖水塊となる。すなわち S_1-S_3 区間が S_3-S_4 区間に比べて、外界の熱的環境の変化に鋭敏に反応することが原因となる。

第3章 大河川における水温日変化

阿武隈川を大河川の例として、福島盆地と下流の丸森-岩沼間の平野で水温を測定した。丸森で6つの日変化形がみられたが、多くは最高水温が夜半に現われる形と、日中と夜半の1日2回現われる形であり、後者は晴天で低水位日に現われる。前者は水位が低下する際に出現時刻が次第に遅れ、後者の夜半の最高水温出現時間帯に連続する。従って丸森では最高水温が低水位日には夜半に現われ、加えて晴天日には日中にも現われる。この現象構造を知るために、上流の福島盆地と下流の平野で水温調査をした。

福島盆地では、盆地中央部で最高水温が最も高く、最低水温が最低となり、日変化形は単純に昇降する。それらの出現時刻はいずれも下流部ほど遅く、前者の遅れは後者の約2倍で盆地最下流部で17時である。盆地内で合流する3本の支流は、本流に比べて最高水温は高く、最低水温は低い。出現時刻は前者が14時、後者が6時でそろっている。流速と流量の資料を加えて支流の影響を除くと、本流の最低水温は盆地中央部で最低であるが、最高水温は下流部ほど高く、その出現時刻は特に後者が実測より早くなり、3本の支流は本流の水温日変化に大きな影響を与えている。当日、丸森では最高水温が12時と24時に現われ、後者は福島盆地下流部の17時の最高水温と連続する。

丸森-岩沼間の平野部では、晴天の低水位日に最高水温は低い。日変化形は、丸森で1日2回の最高水温の形、平野中部で最低水温が午後早く現われたのち段階的に昇温する形であるが、下流部では朝に最低、15時に最高を示し単純に昇降する形となる。高水位日には、丸森で位相は遅くなるが単純に昇降する形で、11km下流で1日に2回最高水温が現われ、さらに下流では15時の最高水温を境に段階的の低下の形が現われ、水位の増加に伴って、日変化形の現われる位置が下流に移動する。すなわち丸森でみられた2つの日変化形は上流の盆地と下流の平野との間で水位の変化に伴って現われる境界現象である。

第4章 河川水温日変化形と自然地理学的条件

2河川により、盆地や平野では最低水温は朝に、最高水温は午後早く現われ、後者は下流ほど幾分遅くなるが、名取川の S_3-S_4 区間や、阿武隈川の福島盆地下流端と丸森の区間では特異な違いの生じることがみられた。これら2区間は前者が狭くて深い峡谷と堰による静水域と隧道、後者は19kmに及ぶ峡谷からなり、水深が深く、波立ちも小さく、日射量も少ない。これを除く区間は水深が浅く、波立ちも大きく、昼夜の温度差の大きな盆地気候を呈し、日射も強い。すなわち盆地や平野では外界の熱的環境の変化が大きいのに加えて河川自体も影響を受けやすいのに対して、峡谷などでは逆の状態にあると考えられる。

第5章 河川水温と気温との相関

従来、1日1回の水温測定値と日平均気温の相関がとられてきた。ここでは水温(wT)と気温(aT)の極値・日平均値の1次式 $wT = b \cdot aT + C$ の係数を求めた。

名取川と阿武隈川中下流部は定性的に大河川の上流・下流の関係になるとすると、直線の傾斜の値はいずれも下流ほど大きくなり1に近似する。傾斜と相関係数は極値より平均温度で値が大きい。傾斜の季節性をみると、いずれの季節でも全期間の値より小さく、特に融雪期に小さい。 $wT = aT$ の値は下流ほど高く、長い川の下流ほど水温が気温より高い期間が長く、 $wT = 0^\circ\text{C}$ の時の気温は下流ほど低く、結氷しにくい。

第6章 用水路における実験的観測

用水路は水路の諸条件が河川より単純である。名取川下流右岸域で、 S_4 から 1.5 km 下流にある堰から取水した水の流下する水路と、湧水の流下する水路で水温を測定した。湧水の水路における日変化形はいずれも単純に昇降する形で、最高水温は下流ほど大きく遅れる。名取川の取水が流れる水路では、夜に最高水温の現われる形が下流に向かって変化し、段階的昇温形、2回最高水温の形、段階的下降の形、日中に高温な形が順に出現する。従って、2つの系統の水路に現われた日変化形は、朝に最低・日中に最高となる単純な昇降形が最高水温起時が遅くなり、段階的昇温、2回最高水温、段階的下降の形をへて再び最初の日変化形に戻るといいう日変化形の系列化が可能となる。

第7章 モデルによる水温日変化の計算

水温の変化が平衡水温と実際の水温との差に比例するとすると、比例係数は熱交換係数/水深と表わされる。源流水温が一定で比例係数の異なる3本の水路に気温の日変化に似た平衡水温の変化を与えて流下する水の温度変化を計算し、水温日変化を求めた。地点水温はある程度より下流で極値水温の変化は止む。この温度を本論では安定水温と呼ぶ。比例係数が大きいと源流に近い地点で、小さいと遠い地点で安定水温に達する。また比例係数が大きいと安定水温と平衡水温の極値の差は小さい。日変化形はいずれの場合でも単純に昇降する形で、比例係数が大きいと平衡水温の日変化形に近いが、小さいと極値水温の出現時刻は遅くなり、特に最高水温は大きく遅れる。

第8章 モデルの適用と河川水温日変化の成長・衰弱・再生に関する

自然地理学的条件

名取川の水温をモデルと比較するために平衡水温を気温で代表させて係数を求めると、 S_1-S_3 区間では約 0.08 と小さい。 S_1-S_3 区間で極値水温起時が遅くれ日較差も小さくなって日変化が衰弱することは、モデル計算に上記の係数の変化を適用すると近似し、係数の分布は地形を通しての地理学的条件とも合致する。係数が 0.08 の名取川下流から取水した水の流れる水路で、取水直後の水温日変化に 0.1 の係数を用いて計算すると下流の水路で観測された水温日変化形が再現される。すなわち名取川一用水路の水系で観測された一連の水温日変化形の系列は、係数の分布の「大一小大」の配列と対応して生じたと考えられる。

阿武隈川中下流部に沿う地形が、盆地—峡谷—平野の配列をなし、峡谷の水流幅がその上・下流部の $\frac{1}{2}$ 以下であることは、係数が「大一小大」の配列であることを意味し、水温日変化形の配列も名取川一用水路の水系に現われた系列と類似する。

以上、規模の異なる2つの河川と用水路の水温測定から、水温日変化形はモデル式の係数の大きな区間で成長し、小さな区間で衰弱するが、さらに下流に大きな区間があると再生することが示された。

第9章 結 論

用水路・中河川・大河川中下流部において各種の水温日変化形を観測した。これらの日変化形は、流下する際の水の温度変化により形成され、流路の状態が浅く波立つ場合には成長し、深く静かな場合には成長しにくく、極値水温起時、特に最高水温起時が大きく遅れる。河川は各種の地形条件下を流下するが、源流部分を除くと、峡谷と盆地あるいは平野に大別される。ここで盆地や平野は前者の状態であると同時に熱的環境の日変化が大きいものに対して、峡谷は後者の状態にある。河川は盆地や峡谷を貫いて平野を流れる。これは水温日変化の成長する区間の下流で成長しない区間を流れ、ここで上流に比べて日変化は衰弱し、再び成長する区間を流れることを意味する。このような地形配列の中を川が流れることにより、水温日変化形は成長・衰弱・再生すると結論される。

論文審査の結果の要旨

本論文は、河川水温の日変化について上流から下流に至る変化過程の実態を明らかにし、それに与える地形その他の自然地理学的条件の影響を考察したものである。

従来定時観測にとどまっていた河川水温について、その日変化の長期間継続観測を行い、その結果を解析した。中河川として名取川、大河川として阿武隈川、実験的観測水路として用水路を調査対象に選んだ。

中河川については10kmごとに4地点の観測を行い、水塊流下に伴う水温変化過程を天候別、水位別に解析し、日変化の最成長域を中流部に求め、水塊の受熱・放熱に関し、地域性のあることを論証した。

大河川については、福島盆地・峡谷部・下流平野に分けて考察した。まず峡谷出口において高温の出現期に6型あることを示し、天候条件のほか水位低下に伴う最高水温出現時刻のおくれによってさらに河口に至る水塊流下に伴い、日中高温型に移行する変化過程を追跡した。また福島盆地における水温日変化の解析から、峡谷出口の深夜高温は福島盆地中央部の日中高温および同下流部の夕刻高温と対応することを論証した。

以上の事実から、河川水温の日変化成長域、衰弱域の存在を明らかにし、地域配列に従って水温日変化の成長・衰弱・再生がくり返し、諸変化型を生ずることを示した。

流下による日変化型の位相のおくれについては、用水路観測により取水水路が深夜高温、湧水水路が日中高温と2系統に分れ、それぞれの水温変化を追跡した。

日変化の成長・衰弱に関する地域特性を重視し、単純水路によるモデル計算に適切な係数を与えて諸種の日変化形を再現し、地域特性としての地形条件が熱交換係数および水深に関することを明らかにした。

河川水温は水利用・災害などに関する環境要素でありながら研究がおくれていた。本研究はその一部の体系化の途を拓いたもので、本論文は理学博士の学位論文として合格と認める。