

恵那市阿木川ダム建設前後におけるダム下流側の盆地霧の変化

小気候団体研究会*

(安藤敏幸・須田勝治・田口 静・古山享嗣)

要 旨

恵那市阿木川ダム建設(1990年完成)前後でその周辺における霧の観測を行い、阿木川ダムの下流側にある盆地底(以下、ダム下という)における霧の発生頻度の変化や霧の発生状況についてまとめた結果、以下のことが分かった。

- (1) ダム建設後にダム下で霧の出現頻度が増加した
- (2) 秋季に出現するダム下の霧は、主に晴れた日の夜間に発生する。ダム堤体上からダム下への層雲や靄などの水平移流とともに、盆地底で霧が発生、発達することが多かった(水平流型)。また、出現頻度は少ないが、層雲や霧がダム堤体から一時的に降下して盆地全体を覆う霧となる場合もあった(降下流型)
- (3) ダム建設前後で霧の出現頻度に変化があったのは、ダム堤体の存在による局地的な風系の変化やダム湖からの水蒸気供給などが影響していると考えられる

1. はじめに

小気候団体研究会(1994)は、岐阜県恵那地方の盆地霧(秋の霧)の調査で、木曾川の大井ダムがつくるダム湖・恵那峡を中心に発生した霧は、盆地底全体に広がる大規模な霧にまで発達することが多く、主に川沿いに発生した霧が周囲からの湿った冷気呼び込み、次々と混合霧が発生拡大したことが原因であるとした。このほか、盆地霧の発生機構については、大阪管区気象台・豊岡測候所(1954)は豊岡盆地の霧の発生機構として放射による冷却、移流による気層の冷却などの要因をあげ、大橋ほか(2004)は広島県の三次盆地の盆地霧について日中の大きなスケールの局地風現象や平地盆地風の存在による影響が大きいことを示唆するなど、それぞれの盆地の局地的な地形、風系などに関係していることがわかっている。

そのような中、前述の小気候団体研究会による調査

が行われた恵那地方では、その調査後の1990年、木曾川に注ぐ支流の一つである阿木川にダムが完成した。ダム建設前後の霧発生の変化やダムが霧に及ぼす影響に関する調査はこれまでほとんど行われていない。ダム湖という大きな水蒸気供給源の出現やダム堤体による局地的な地形の変化、それによる風(盆地内のスケールの小さい局地風)や気温分布の変化はその周辺の霧の発生に影響を与える可能性がある。このため、この阿木川ダムの建設後にあらためて霧の観測を行い、霧の発生頻度や発生状況の変化、およびダムの影響がどのように霧の発生・発達に影響しているか調べた。

2. 調査地域

第1図に調査地域を示す。調査地域は、岐阜県南東部に位置する主に恵那市及び中津川市の阿木川流域である。阿木川は、美濃三河高原北東部に端を發し、保古山(標高970m)・花無山(標高702m)・鍋山(標高770m)の間を南から北へ流れ、恵那市街地を通過して木曾川に合流する。阿木川ダムは、花無山・鍋山の間築かれた。阿木川が木曾川と合流する地点のすぐ東側

* kyouji612@yahoo.co.jp

—2021年5月28日受領—

—2022年1月31日受理—

には大井ダムがあり、そのダム湖を中心とする地域を恵那峡（湖面の標高250m程度）と呼ぶ。恵那峡は恵那盆地の北端に位置し、阿木川ダム湖（湖面の標高約400m）は、盆地の南端に当たる。阿木川ダム堤体から恵那峡までは約7kmで、陸地の標高差は概ね50mある。また、阿木川ダムのダム堤体上とダム下との標高差は約100mである。

3. 調査方法

調査は、主に霧の分布と出現頻度を調べるための常時観測と、阿木川ダムの下流側にある盆地底（以下、「ダム下」という）に出現する霧の発生・発達と気象条件を調べるための特別観測、及び特別観測で得られた結果を検証するための追加観察を実施した。それらの

観測地点は第1図に示す。

常時観測：第1表のように、阿木川ダム完成前（1984年、1985年、1988年）に3秋季合計169日間（小気候団体研究会（1994）による調査内容の一部）、阿木川ダム完成後（1992年、1994年）に2秋季合計103日間、朝6時30分～8時00分の霧の出現状況、雨の有無と降水時間、1日を通しての天気変化について観測した。観測は一般市民数十名の協力を得て、各人の家や通勤・通学時における上記項目の確認を行ってもらった。なお、常時観測時の霧の定義は気象庁の観測指針に基づき視程1km未満とし、地点ごとにあらかじめ目標物を定めた。観測者は同一地点・同一人物を原則とし、できるだけ観測品質を確保できるよう努めた。

特別観測：1992年～1996年の10月～12月に合計10回、夜間から早朝にかけての観測を行った。観測内容は、以下の通りである。

- ①移動観測：阿木川上流と阿木川支流の飯沼川及び阿木川ダム沿いの地域、ダム下とその周辺地域を移動して、気温・湿度・天気・霧・風を観測し、必要に応じて写真撮影を行った。
- ②ダム堤体定点観測：阿木川ダム堤体上（標高417m）にて、気温・湿度・天気・霧・風を観測した。また、写真撮影も行った。
- ③写真定点観測：阿木川ダムからダム下全体が望める高台（標高370m）に位置する丘陵から特別観測時は随時写真撮影や霧の動きを目視でスケッチ図に記載した。また、この地点でも移動観測を行った。
- ④鉛直気温分布観測：阿木川ダム堤体から北約1kmのダム下（原点）で、係留気球により、上空最大400mまでの鉛直気温分布と風向を観測した。
- ⑤連続気温観測：ダム堤体上と原点で気温と湿度を連続観測した。
- ⑥水温観測：阿木川ダム湖で22時と6時に水温を観測した。

なお、上記特別観測①と②の霧の判定は、霧粒が確認でき、その霧粒が観測者を覆っており、少なくとも1方位以上で視程が著しく悪い場合（視程200m未満）を霧とした。また、使用した観測機器は次の通りである。

気温・湿度：アスマン通風乾湿計・バイメタル式自記温湿度計



第1図 調査地域。

第1表 常時観測期間。

年	観測期間	日数
1984	10月11日～12月13日	64
1985	10月11日～12月13日	64
1988	10月21日～11月30日	41
1992	10月21日～12月13日	54
1994	10月23日～12月10日	49

水温:アスマン通風乾湿計の乾球温度計
 風:吹き流し(タフロープを裂いて棒に付けたもの)
 鉛直気温分布:JWA-76T型・JWA-TW78型低層ゾンデ

追加観察:霧発生の際年変化を調べたり、ダム下で発生する霧の発達の様子を映像で確認したりするため、2016年及び2017年の秋季に追加観察を実施した。追加観察は、10月～12月に合計31日間、ダム下を中心に霧の分布や動態を写真やビデオ(コマ撮り)で撮影した。主な撮影場所は、特別観測時の観測地点(写真定点観測地点より50m東の地点、標高370m)である。

4. 霧の出現頻度の変化

第2図に阿木川ダム完成前、第3図に阿木川ダム完成後の朝霧出現回数の分布を示す。恵那峡から阿木川ダム堤体下まで比較しやすいようにポイントA～Hを図示した。

木曾川の大井ダムが作る恵那峡(第2図のA)においては、阿木川ダム完成前に観測期間169日間で98回(割合としては0.58)の霧が確認され、阿木川ダム完成後では観測期間103日間で84回(割合としては0.82)であった。これに対して、阿木川ダムの北(ダム下E～H)においては、阿木川ダム完成前には169日間の観測

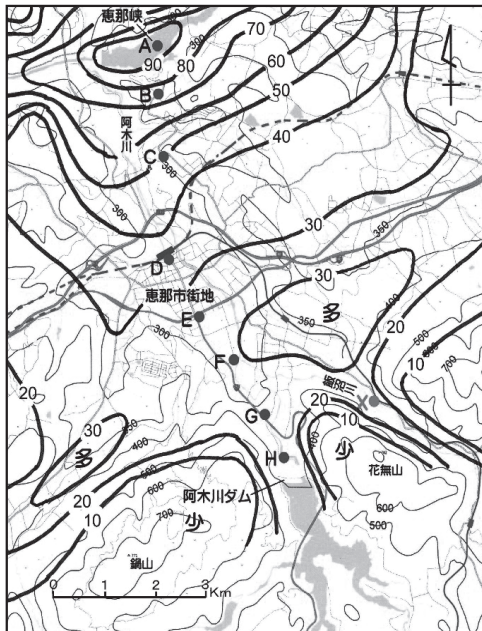
期間で20～30回前後(割合としては0.12～0.18)だったものが、阿木川ダム完成後には103日間の観測期間で30～40回前後(割合としては0.29～0.39前後)であった。霧発生割合は、恵那峡と阿木川ダムの北側(ダム下)で、いずれも阿木川ダム完成後に大きくなっているが、恵那峡に比べ阿木川ダムのダム下の方が霧発生割合が2倍以上とかなり大きい。

出現した霧を規模別に分類してみると第2表のようになる。前述の小気候団体研究会(1994)の結果を踏まえて、霧が木曾川沿い(恵那峡)から恵那駅(第2図のD)付近より南へ広がった場合は大規模霧、また、概ね市街地の南側(第2図のE)を越えると広域規模霧と呼ぶことにする。この表から、阿木川ダム建設後は、小・中規模霧及び大規模霧の出現率が減って、広域規模霧の出現率が増えていることがわかる。また、恵那峡から広がる霧とは別にダム下に発生する霧も増加している。

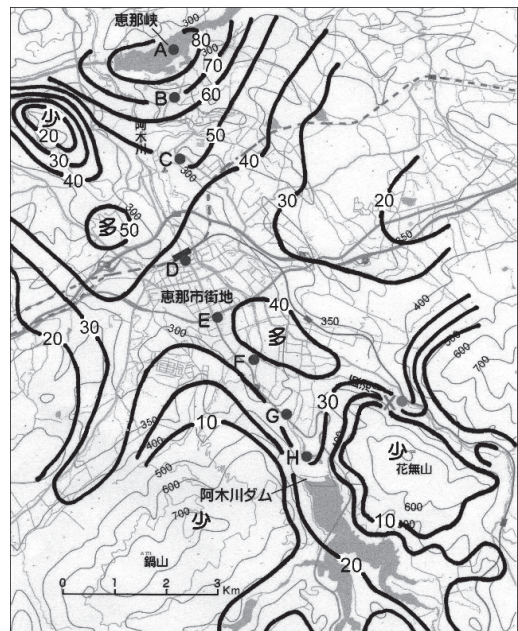
5. ダム下の盆地に発生する霧の特徴

5.1 特別観測で見られた広域規模霧のパターン

第3表に示すように、特別観測10回のうち、第2図のAからEを越えて広がった広域規模霧は、5回出現した。いずれの場合も、阿木川ダム堤体上を上流から下流へ水平に流れていく層雲や霧・靄が見られ、ダム



第2図 阿木川ダム完成前朝霧出現回数.



第3図 阿木川ダム完成後朝霧出現回数.

第2表 霧の規模別出現状況.

霧の規模	霧の規模別出現回数		霧の規模別出現率(%)	
	1984年 1985年 1988年	1992年 1994年	1984年 1985年 1988年	1992年 1994年
小・中規模	60	44	60.6	51.2
大規模	12	3	12.1	3.5
広域規模	26	37	26.3	43.0
その他の霧	1	2	1.0	2.3
合計	99	86	100	100
ダム下の霧	7	11	7.1	12.8

霧の凡例

霧の規模	霧の範囲
小規模霧	A 付近の霧
中規模霧	A～C まで連続する霧
大規模霧	A～D まで連続する霧で、D を超える霧
広域規模霧	A～E まで連続する霧で、E を超える霧
ダム下の霧	E～H までのどこかで発生した霧で、A～C までの連続する霧と接続しない霧
その他の霧	上記以外の霧

注) A～H は第2図、第3図に示す霧規模判定地点

下でも霧が発生した(以後、この層雲や霧・靄を伴う霧の発生時のパターンを「水平流型」という)。そのうちの2回は一時的にダム堤体を降下する霧も見られた(以後、この霧の発生時のパターンを「降下流型」という)。この霧は雨後に発生しており、後述のように「水平流型」と発生時の気象条件は異なっていた。

5.2 「水平流型」の事例

5.2.1 霧の動態

「水平流型」の典型事例として1996年11月23日の観測結果を示す。第4図は2時20分から4時40分頃(後述の第2波の時間帯)にかけて霧が広がる様子を図示したものである。第5図に、11月23日未明から明け方にかけての霧の様子について、この地域を俯瞰できる高台(第1図に記した写真定点観測地点)から随時撮影した写真画像を掲載する。23日0時頃より、ダム湖上に層雲や靄状の帯が現れ(第5図a及びb)、2時頃にはダム下の盆地上層(ダム堤体の高さからその上空数十m間)にこの層雲や靄状の帯が水平に移流し、盆地上空の層雲として広がった。そしてこのような層雲が水平に移流する現象が7時頃にかけて4波見られた。途中、2時過ぎにはダム下に霧が発生し、時間と共に

第3表 特別観測時の霧の規模と天気.

No.	観測年月日	霧の拡大パターン	霧の規模	前日の天気	前夜～朝の天気	前日の日照時間	前夜～朝の風
1	1992.10/18		出現せず	快晴/晴	晴→曇→晴	8h～15h 0.7～1.0	夜 静穏
2	1992.11/1	降下流型 →水平流型	広域規模霧	快晴→晴	晴/雨→霧	10h～16h 0.7～1.0	夜～朝 静穏
3	1992.11/23		小規模霧	快晴→晴	晴/曇	9h～16h 0.5～1.0	夜～朝 静穏
4	1992.12/6		小規模霧	晴/快晴	晴/曇	11h～16h 0.8～1.0	夜～朝 静穏
5	1993.11/23	水平流型	広域規模霧	晴//快晴	快晴→霧	9h～16h 0.7～1.0	夜～朝 静穏
6	1993.11/28	水平流型	広域規模霧	雨→曇	晴→霧→雨	16hに0.1 他はなし	23h 2m/s 他0～1m/s
7	1994.10/30	降下流型 →水平流型	広域規模霧	雨→晴→曇	晴/曇→霧	9h～12h 日照あり	夜～朝 ほぼ静穏
8	1995.11/26		出現せず	晴	快晴/晴	9h～16h 0.5～0.9	夜～朝 静穏
9	1996.11/4	水平流型	中規模霧	快晴	快晴	9h～16h 1.0	夜～朝 静穏
10	1996.11/23	水平流型	広域規模霧	曇//晴	快晴→霧	9h～16h 0.2以下	夜～朝 静穏

注) 1. 霧の様子と天気は原点での観測による。
2. 日照時間と風はアメダス恵那観測所のデータを用いた。
3. 前日の日照時間は上段が日照のあった時間帯、下段はその時の1時間当たりの日照率。

ダム下の霧はその範囲や濃さを増した。その詳細な霧の動態について時間を追ってみると、次のようになる。

0時頃：第1波→ダム湖上の層雲がダム堤体を越え、層雲や靄状の帯がダム下の上層に流れていた。しかし、ダム下には霧は全く見られなかった。その後、一旦ダム堤体を越えた層雲や靄状の帯はダム堤体より上流側に後退した（第5図a）。

1時～4時：第2波→1時30分頃には再び層雲がダム堤体を越え（第5図b）、2時10分頃には第4図のダム下エ地点の上層まで達していた（第5図c）。この時すでにア～エ地点の近くの川沿いでは蒸発による湯気（靄）が発生していた。2時20分頃には観測原点（第4図ウ）の北で霧が発生し（第5図d）、2時40分頃には原点付近まで覆った（第5図e）。そして、その後にはダム下の広い地域が霧に覆われた（第5図f）。

5時頃：後退期→4時40分頃～5時20分頃までは、上層の層雲はダム堤体の上流まで後退し、盆地内の霧は高さが低くなるとともに霧の拡大が収まった（第5図g）。

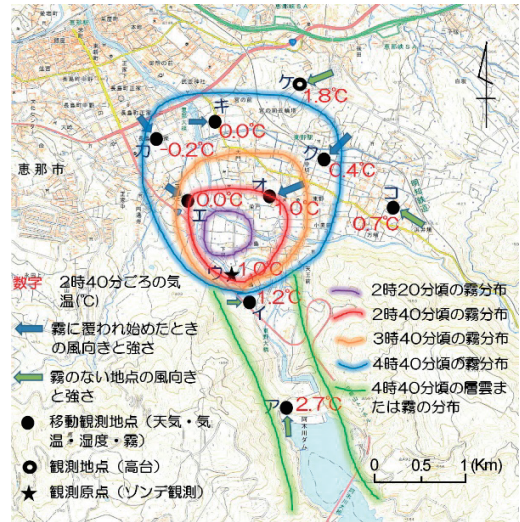
5時30分頃：第3波→5時30分頃から再び層雲がダム堤体を越え、ダム下の上層へ層雲として広がった。ダム下の観測地点（第4図のイ地点）周辺では地上近くから霧が盛り上がり（上昇して）、ダムから水平に延びてきた層雲の中へと入っていた（第5図h）。

6時～7時：第4波→一旦やや後退したダムからの層雲は、6時過ぎにはダム堤体を越え、ダム下の上層へ広がり始めた。7時にはダムからの層雲とダム下の霧が、恵那市街地方面からの霧と一体化して一続きの霧（広域規模霧）となった（第5図i）。

5.2.2 ダム下における霧と気温及び風の状況

ここでは、第4図に示す第2波のダム下における霧の拡大の様子を詳しく見る。

ダム下における霧の発生は、移動観測結果や写真の状況から、阿木川ダム堤体を越えて水平に移動してきた層雲第2波が見られた2時20分前後であったと考えられる。2時から5時にかけて霧が拡大し、ダム下をほぼ覆った。盆地内での霧拡大に際し、移動観測地点及び定点観測地点で霧に覆われ始めた時の風は、その拡大する霧に向かう風向きとなっていた（第4図中の青矢印）。霧の発生が盆地底のため、風向が標高の高いところからの風（いわゆる重力流）と一致するところもあるが、標高の低い市街地方面からの風も複数見ら



第4図 1996年11月23日の霧拡大の様子。

れている。これは、霧の発生地点では、地表面の放射冷却が弱まって、周囲よりも相対的に気温が高くなるため、相対的に気温の低い周囲の空気が流れ込む動きを形成し、その境界での気塊の混合に伴う霧、すなわち混合霧の発生が促進されるとともにその領域が拡大したのではないかと考えられる（小気候団体研究会1994）。なお、ダム下全体が霧に覆われた6時頃には、全般的に風が弱まっており、風向に規則性が見られなかった。

次に、盆地周辺の気象状況についてみる。

2時以降の各地点での地上気温観測のデータによれば、阿木川ダム湖上に比べてダム下から市街地にかけての気温が2℃程度低くなっていた。ダム下の原点（ウ地点）での気温の鉛直分布（第6図）をみると、下層の気温が上層に比べて低かったことを示している。すなわち、恵那市周辺の盆地内では0時以降、地上から上空100～150m程度までの逆転層が形成されていた。

なお、阿木川ダム湖の水温は霧発生前日の22日22時に12.7℃、23日6時は12.1℃であった。ダム堤体上の気温より水温の方が22日22時に9.3℃、23日6時に12.1℃高かった。両時間帯ともに、目視では湖面から湯気が立つ状況が確認されている。

原点でのゾンデ観測データによれば、250m以下では、夜半前には南系の風が吹き、夜半過ぎから未明にかけては特に150m以下の下層の風が弱まった（ほぼ静穏であった）。

ダム湖上では、ダム堤体定点観測の吹き流しの観測



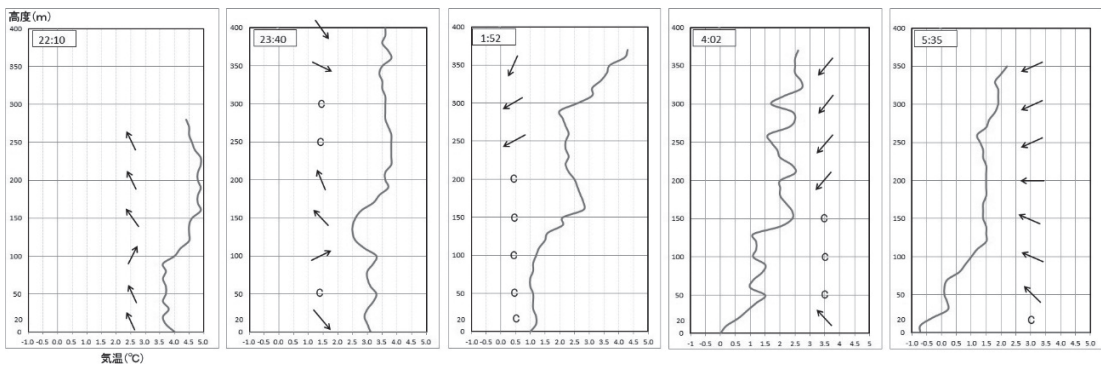
第5図 1996年11月22日～23日の霧の写真. a) 阿木川ダム堤体の推定位置を示す, b) イは, 第4図の霧観測地点イのおおよその位置を示す.

及びダム湖上の霧や層雲の動きの観測データによれば, 観測時間中ほぼ定常的な南寄りの風が吹いていた. しかし, ダム下の多くの地点では0時以降それまでの南系の風が弱まり, 2時以降写真観測班や移動観測班の目視観測による霧の移動方向は, ダム下の下層では, ダムからの水平流とは反対の方向であった. すなわちダム方向へ吹く風(北風)が見られた. そして,

北風に乗ってダム堤体の手前で上昇する霧や靄は, 上空に行くほど次第に南寄りの流れとなり, 最終的にダムからの水平流に合流するように流れていた. この霧や靄の動きは, 阿木川ダムに降りてくる南寄りの山風がダム堤体を越えて静穏な盆地の上空に吹くことにより, 「水平流の引き摺り効果(水平流に引き摺られること)による水平流と並走する南風」と, それに起因す



第5図(続き) 1996年11月22日～23日の霧の写真。h)イ及びウは、第4図の霧観測地点イ及びウのおおよその位置を示す。



第6図 気温の鉛直分布 (1996年11月22日～23日)。

る「ダム堤体に沿う上昇流」及び下層における市街地方面からの北風」が連鎖的に吹くものと考えられる。

5.3 「降下流型」の事例

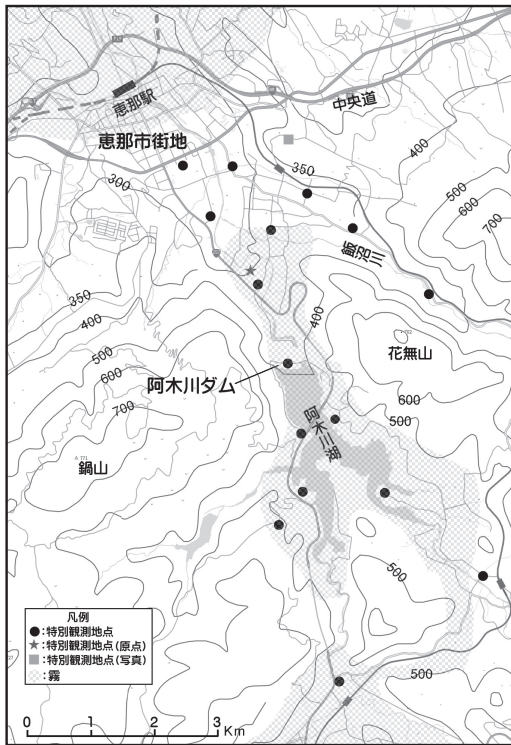
5.3.1 霧の動態

一時的に阿木川ダム堤体を降下した霧が見られた事例として、1994年10月30日の観測結果(霧の分布)を

第7図に示す。

前日(29日)は、朝まで雨が降り、その後昼前に一時晴れたが、午後からは再び曇りとなった。夜間は早くから層雲が広がっていた。宵のうちには阿木川ダムから恵那市街地にかけて晴れ間が出たところもあった。

そのような中、霧は標高の高いダム湖の上流で30日



第7図 降下流型の例 (1994年10月30日6時).

の1時頃に出現した。その後、2時頃からダム湖上に霧が発生し、3時頃から6時30分頃の間に以下のようにダム堤体を降下し、盆地内の霧として拡大する様子が見られた。

3時～4時：ダム湖上の霧が一時的にダム堤体を越え、下方に向かって降下し、3時30分過ぎにはダム下まで到達した。

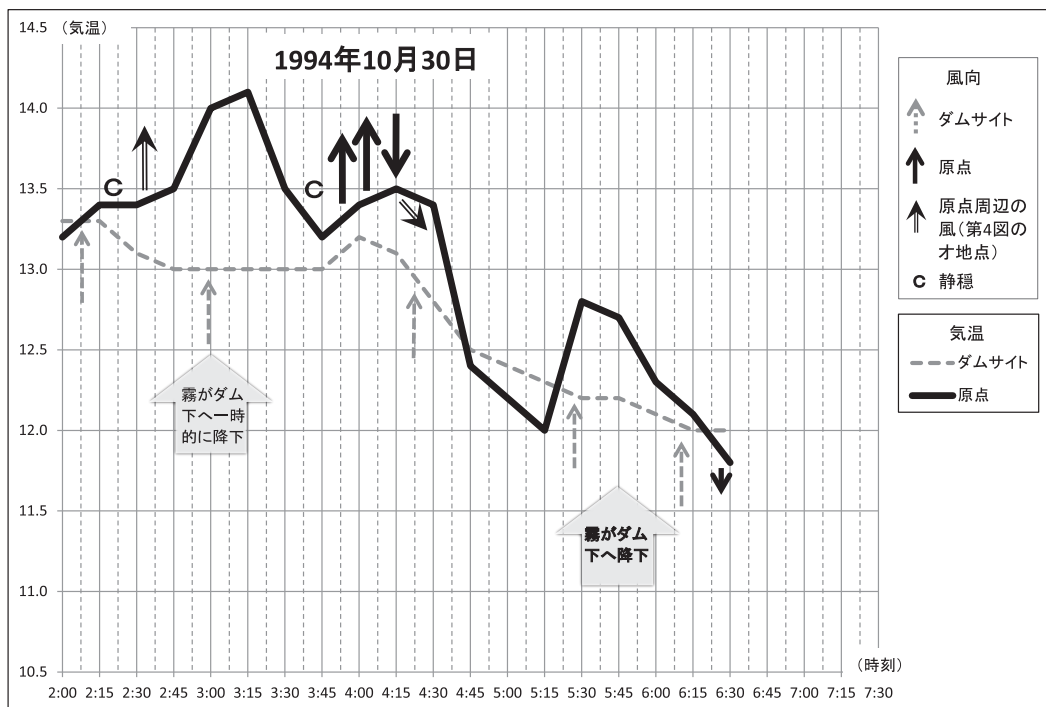
5時30分～6時20分：ダム湖上の霧が断続的に降下し、5時50分過ぎにはダム下まで至った。その後6時20分には降下する霧はなくなったが、ダム下の霧は濃くなった。この時間にはダム堤体上から水平に市街地方面に流れる層雲が見られた。

6時30分頃：ダム下に発生していた霧は拡大し、市街地方面から広がってきた背の高い霧の下層部に入り込み、広域規模霧となった。

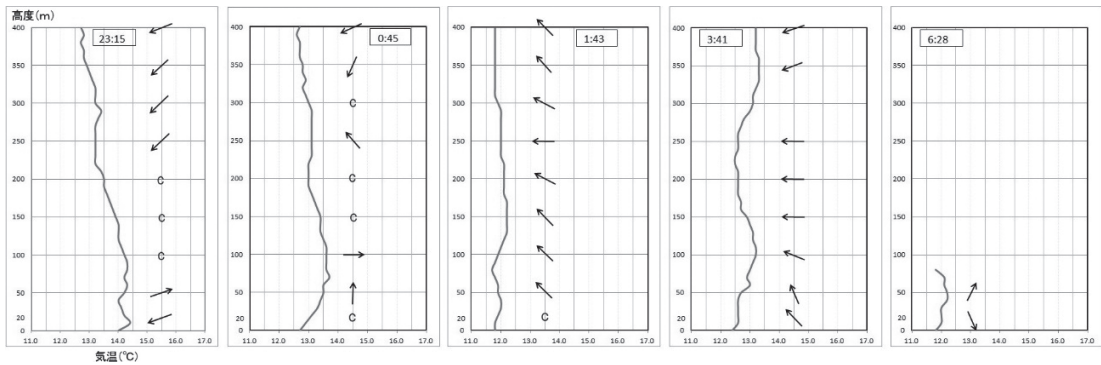
5.3.2 ダム下の霧と気温及び風の状況

降下流が見られた時間帯の阿木川ダム堤体定点観測点及びダム下の観測原点における気温及び風向の時系列変化を第8図に示す。

ダム湖の上流では、ほかの地域より早く晴れ間が広がり、放射冷却の影響を受け、前述の通り1時頃に霧が発生した。間もなくダム湖上にも、全体に霧や靄が



第8図 降下流型霧発生時のダム堤体上(ダムサイト)とダム下(原点)の気温変化.



第9図 気温の鉛直分布 (1994年10月29日～30日)。

発生した。一方、ダム下の盆地一帯は、2時頃までは風が比較的弱くダム堤体上との気温差が小さく霧の発生はなかった。3時頃には、ダム下の気温が1℃ほど上昇した。この時ダム湖上の霧が一時的に堤体を降下してダム下(堤体下)に到達した。4時30分過ぎには、ダム下の観測原点において気温の急激な低下が見られ、霧の発生はなかった。5時30分ごろにはダム下の気温が再度上昇し、ダム下に降下する霧が見られた。なお、原点近くで観測された北寄りの風は市街地方面からの冷気と考えられる。6時30分少し前には、原点の気温は低下した。その時間帯には、降下流は見られなくなり、ダム湖上からの霧や靄は水平に流れる層雲となった。

原点で観測された気温と風の鉛直分布(第9図)によれば、「水平流型」の典型例(第6図)で見られるような明瞭な接地逆転層は形成されておらず、夜半から明け方にかけて時間帯によって弱い安定成層状態と中立成層状態になっていた。

6. ダム建設後の広域規模霧増加の要因について

第2表で明らかとなった阿木川ダム建設後の広域規模霧増加の主な要因について考察した。

考えられる要因としては、ダム堤体ができたことにより阿木川沿いの山谷風が弱まって放射冷却が進みやすくなったことや、ダム湖から水蒸気が供給されやすくなったことなどがある。

出現頻度が多い「水平流型」の大きな特徴は、第6図に示した通り強い逆転層の形成にある。地上の風は弱く、ダム堤体と同等の高さである上空100m以上の風は谷筋の走行と同じ南寄りの風となっていた。しかし、ダム堤体より低い地上から上空100m程度までの

高度はダム堤体に遮られ谷筋の風が弱まって、盆地内は弱風となり放射冷却が進む環境が作られたといえる。

「降下流型」の霧の特徴は、ダム下の気温が1℃以上高くなった場合にダム湖上の霧がダム下まで降下して発生する。頻度は少ないが、市街地方面の霧と合流して広域規模霧となることがある。

これらのことは、追加観察においても捉えることができ、「水平流型」及び「降下流型」の2パターンによる広域規模霧も確認することができた。特別観測と追加観察を合わせ、広域規模霧は18回(追加観察13回)出現し、そのうち13回でダム湖上からダム下上空へ伸びる層雲、すなわち「水平流型」のパターンが確認できた(層雲がダム全体を覆っていたこと等によりパターン確認を得られなかった場合は計上していない)。また、「降下流型」は特別観測の2回のほか、追加観察でも3回見られた。いずれもダム堤体上から降下し、ダム下に流出している霧を確認することができた。

以上のことから、ダム建設は、建設前に恵那峡から市街地にかけて出ていた大規模霧などの霧の規模にも影響を与え、ダム下の霧出現回数を増やし(表2参照)、これらの霧を広域規模霧にまで発達させることが多かったといえる。

謝辞

観測に御協力いただきました恵那市・中津川市のみなさん、一般財団法人日本気象協会のみなさん、小気候団体研究会の元会員や協力者のみなさんに深くお礼申し上げます。また、東京大学名誉教授木村龍治様、元気象庁(気象大学校)澤井哲滋様、日本気象協会参与中西幹郎様には貴重なアドバイスやご指導を、さらには査読者や編集委員の皆様方には丁寧な原稿

チェックとご指摘をいただき感謝に堪えません。

参 考 文 献

大橋唯太, 寺尾 徹, 宮田賢二, 田中正昭, 堀口光章, 林泰一, 2004: 局地循環による水蒸気輸送と盆地霧発生の関連性—広島県三次盆地対象とした数値実験—. 天気,

51, 509-523.

大阪管区气象台, 豊岡測候所, 1954: 1952年秋の豊岡盆地の霧観測報告. 研究時報, 6, 638-646.

小気候団体研究会, 1994: 恵那地方の盆地霧について. 天気, 41, 23-35.

Changes in Basin Fog Generation Frequency on the Downstream Area of the Ena-Agigawa Dam before and after its Construction

Syoukikou Dantai Kenkyuu-kai*

(Toshiyuki ANDO, Katuji SUDA, Shizuka TAGUCHI and Kyouji FURUYAMA)

* kyouji612@yahoo.co.jp

(Received 28 May 2021; Accepted 31 January 2022)
