

恵那地方の盆地霧のメカニズムについて

—スケールの異なる盆地の霧観測より—

小気候団体研究会*

(安藤敏幸・須田勝治・田口 静・古山享嗣)

1. はじめに

沢井 (1982) は、霧の発生原因を“放射冷却霧”(放射霧)、“混合冷却霧”(移流霧)、“混合霧”(海岸や前線近くで発生する前線霧)など6分類している。下畑 (1992) や近藤 (1994) などは、盆地霧を放射霧として紹介している。大阪管区気象台・豊岡測候所 (1954) の調査では、豊岡盆地における夜間の観測から霧の発生機構として放射による熱の移動、移流による気層の冷却などの要因をあげ、山麓数か所に発生して急速に発達するとしている。また、水越・奥 (1974) は、盆地霧の一般的かつ面的な広がりを調べるため、上野盆地での2年間にわたる観測結果から同じ盆地内の霧分布の地域差や霧の発生から消滅に至る変化の様子を示し、この地域の霧は放射冷却の影響が強く、さらに川及び池からの蒸発の影響も受けており、放射冷却だけが霧の発生を左右する条件ではないとしている。また、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が大きいことを示唆している。

これらのことを踏まえ、恵那地方の観測結果から盆地霧のメカニズムを検討した。

小気候団体研究会 (1994) (以後、「木曽川沿いの盆地霧の調査結果」という) は、第1図に示す岐阜県恵那地方の盆地霧の調査 (青色の四角の範囲) で、木曽川の大井ダムがつくるダム湖・恵那峡を中心に発生し

た霧が広範囲に拡大して、盆地底全体 (青い点線の範囲) 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を呼び込み、次々と混合霧が発生拡大したと考えられるとした。この中で、霧のメカニズムを「発生期」「変化期」「発達期」「消滅期」に分けて記載した。

その後、1990年に木曽川に注ぐ支流の1つに阿木川ダムが完成した。小気候団体研究会 (2022) (以後、「阿木川ダム下の盆地霧の調査結果」という) は、第1図に示す地域 (赤色の四角の範囲) でダム建設後にも霧の調査を行い、第1表のようにダム下 (ダム下流側の盆地底 (赤い点線の範囲)) の霧が建設前に比べて大幅に増えたこと、増えた要因としてダム堤体が出来たことによるダム下の気象環境の変化 (風速の低下や強い逆転層) 及びダム湖からの水蒸気の補給などをあげた。

これらの調査結果を受けて、木曽川沿いと阿木川ダム周辺という2つのスケールの異なる観測地域 (川沿いの広域な盆地とダム堤体ができたことによるダム下の狭い盆地) における盆地霧のメカニズムについて検討した。

2. 霧の発生に係る観測・観察結果及び考察

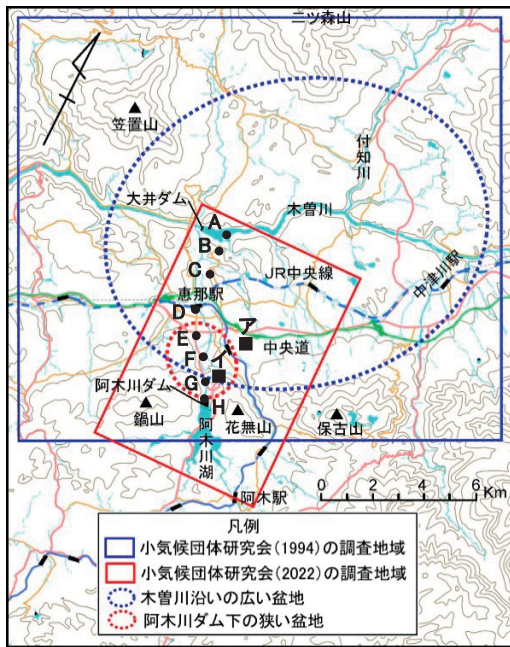
2.1 放射冷却と霧の発生

「木曽川沿いの盆地霧の調査結果」における特別観測では地表面温度が最も低い盆地底から霧が発生せず、河川 (木曽川) 沿いに霧が発生した。このことは、「阿木川ダム下の盆地霧の調査結果」の特別観測でも同じであった。いずれも川面や川沿いの地域から霧が発生していた (蒸発霧や滑昇霧)。また、水越ほか (1974) も前述のように放射冷却だけが霧の発生を左右する条件ではないとしている。

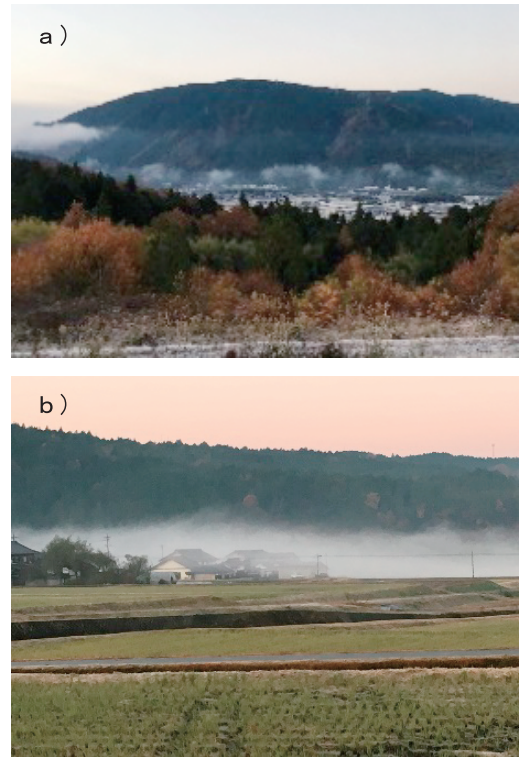
* Syoukikou Dantai Kenkyuu-kai (Toshiyuki ANDO, Katuji SUDA, Shizuka TAGUCHI and Kyouji FURUYAMA).

kyouji612@yahoo.co.jp

© 2022 日本気象学会



第1図 調査地域と盆地.



第2図 盆地内の「発生期」の霧の例と「変化期」の霧の例. a) 阿木川沿いの発生期の層雲や靄, 弱い霧(間隔を置いて発生)(2017年11月26日6時32分, 第1図のア地点から阿木川ダム下方向を撮影), b) 川から岸へ広がり始めた霧, 霧の発達前の段階(2017年11月28日6時35分, 第1図のイ地点から北西方向を撮影).

第1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	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 を越える霧
広域規模霧	A~E まで連続する霧で, E を越える霧
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 の地点は第1図を参照.

晴れた日の夜間から明け方にかけては, 放射冷却により盆地底で最も気温が低くなる. しかし, 霧が最初に発生するのは川沿いで, 盆地の最低温域ではないことから盆地底に霧が発生(拡大)するには放射冷却以外の条件が必要と考えられる.

2.2 川沿いの蒸発霧及びダム湖からの水蒸気の供給 「木曾川沿いの盆地霧の調査結果」で霧の発生は川からの蒸発霧が最初であったが, 「阿木川ダム下の盆地霧の調査結果」でもダム下の阿木川からの蒸発霧が最初であった.

川沿いは放射冷却によって陸側の気温が低くなり, その気塊が川へ流入し水温との温度差が大きくなると, 川面から蒸発が盛んになる(第2図a). 川沿いに風が吹いているとさらに蒸発が加わって蒸発性の「湯気」が明瞭化し, 蒸発霧が発生する. また, 川周辺の

地形や地物の影響で川から蒸発した湿った空気が上昇すると局所的な滑昇霧も見られるようになる。

阿木川ダム完成後には、ダム湖からの水蒸気供給も阿木川沿いの霧発生を促し、川沿いの風がその霧を陸側へ運ぶ役割をしている。それらの条件が続くと蒸発霧（一部滑昇霧を含む）が10m程度の高さで数10mの広がりとなり川岸の地域にまで拡大する（第2図b）。

この段階まで来ると、第2.5節で述べるように霧は発生・発達条件が変わり盆地底で発達（拡大）しやすくなる。

2.3 ダム堤体の影響

阿木川ダムの完成後、阿木川上流からの山風の影響が弱まり、ダム下の風が弱まった。このことにより、ダム下の逆転層はより明瞭になったと考えられる。「阿木川ダム下の盆地霧の調査結果」における特別観測時のゾンデ観測にその状況が表れている。

このため、ダム堤体を越えた『水平流型』の層雲がダム下の上層100m～150mに現れると、その下層の盆地底上層50m前後では恵那市街地方面からダム堤体へ向かう風が現れ、その風が上昇することが多かった。その風は写真観測班の目視観測のスケッチやビデオのコマ撮り撮影による霧の動きから明瞭に確認できた。

すなわち、ダム下ではダム湖からの水平流の引き摺り効果で発生したダム下上層の南風、それに伴いダム堤体の北側で発生する上昇流、さらにそれに伴う補償流としてダム下下層の北風が発生していると考えられる。

2.4 霧の発生と夜間の氷点下時間帯の関係

2016年と2017年の霧観察結果においては、第2表に示すように霧の発生と夜間の氷点下時間帯との間に密接な関係があることが分かった。

12月下旬以降になると、霧の発生数が減った。このうち、夜間氷点下の時間が10時間以上と長いと、雨後の霧が出て、急速に霧が減衰し、明け方には消滅していた。また、氷点下時間が5時間以上10時間未満の場合は、大規模以上の霧が明け方には中規模霧以下になることがあった。これは、大気中の水蒸気が冷えた地表面に昇華する（霜になる）ことによると考えられ、氷点下時間帯が長いほど霧の発生が少なくなると考えられる。

第2表 氷点下時間と朝霧の規模との関係 (2016年と2017年の霧観察調査実施日)

氷点下時間	霧なし	小・中規模霧	大規模霧	広域規模霧
10時間以上	●●●●●			
5時間以上10時間未満	●	●●		
5時間未満	●●●	●●●	●●	●●●●● ●●●●● ●●

注) 氷点下時間は前日19時から当日9時までのうち、氷点下の時間
注) ●・・・1回（早朝の霧）

2.5 霧の自己発達について

「木曾川沿いの盆地霧の調査結果」で示唆された、霧が発生すると自己発達で霧の範囲が拡大するという盆地霧のメカニズムの仮説は「阿木川ダム下の盆地霧の調査結果」の霧観察でも確認できた。

「阿木川ダム下の盆地霧の調査結果」に示す1996年11月23日の霧分布（第3図）と2016年12月3日の第4図の事例（写真）を比較する。後者の12月3日7時5分の霧の範囲は前者の11月23日2時20分の霧分布とほぼ同じで、後者の7時19分に見られる霧の範囲は前者の2時40分の範囲よりやや狭かった。前者の事例では20分間、後者の事例では14分間の霧拡大の様子で、両者はほぼ似た位置と大きさ、発達時間であることが分かる。前者は上空に層雲が覆っており、視覚的に霧の発達を追えなかったが、後者は層雲が無く、コマ撮りのビデオでも捉えられ、霧が徐々に拡大していることが分かった。この背の低い霧は上部の毛羽立った霧がダム方面からの南風と同じように市街地方面（写真左から右）へ流れており、霧の上部が南風に流されていることが分かった。この盆地底の霧は市街地方面からダムサイト方向（写真の右から左）への動きだけでなく、写真手前へ拡大するなど周囲への広がりを見せており、しかも発達して霧の高さを増している。このことは「阿木川ダム下の盆地霧の調査結果」で示したように、周囲から霧に向けて収束する風の前面で混合霧が発生し、その霧が新たな温度差を作りさらなる混合を促していたこと、その繰り返しが自己発達で、それがなくなった時霧の発達は終わる、という一連の盆地霧発達過程の証左と考えられる。その後この霧は日差しの影響を受けて衰弱に向かった。

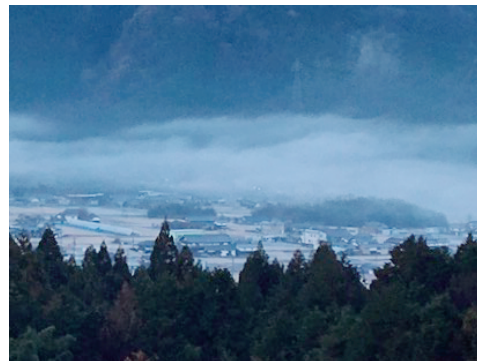
同様な現象は2017年11月10日にも見られ、この時も前者（1996年11月23日）とほぼ同様な距離を約20分かけて拡大した。



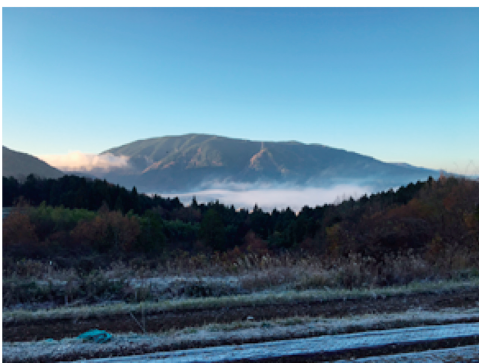
第3図 2層の水平流（1996年11月23日7時9分）。上層の霧はダム湖からの「水平流」によるもの、下層の霧は写真の左側鞍部に存在するダム堤体の北側（右側）で上昇・反転してもうひとつの「水平流」となっている。左図は、市街地方面からダム堤体に向かって流れる地上付近の霧が上昇・反転している様子を望遠で、右図はダム湖からの「水平流」と反転した「水平流」が2層になっている様子を広角で撮影したものである。



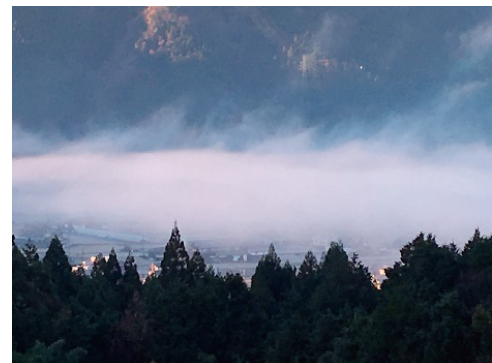
2016年12月3日7時5分



左と同時刻の拡大写真



2016年12月3日7時19分



左と同時刻の拡大写真

第4図 盆地霧の拡大の様子。上の写真の14分後に下の盆地底の霧が手前へと拡大、霧の上面は写真の左から右へ移動。

3. 恵那地方の盆地霧の発生から消滅までのメカニズムについて（考察）

木曽川沿いの広域な盆地霧と阿木川ダム下流域に発生するスケールの小さな盆地霧のメカニズムをまとめると以下ようになる。

3.1 木曽川沿いの広域な盆地霧のメカニズム

木曽川沿いの広域な盆地霧のメカニズムについては、「木曽川沿いの盆地霧の調査結果」のとおり【発生期】、【変化期】、【発達期】、【消滅期】の4段階である。

【発生期】は木曽川沿いで蒸発霧が発生し、【変化期】では霧の発生原因が蒸発気塊の拡大によって陸側の気塊との混合に変わる。【発達期】には霧の有無によって放射冷却に違いが生じ“相対的湿潤冷気”と“相対的湿潤暖気”が混合して新たな霧（混合霧）が発生する。その後も連続的に混合して自己発達し、中津川市から恵那市にかけての広域な平地部に拡大する。そして朝を迎え【消滅期】となり日射によって消滅する。

3.2 ダムの影響による盆地霧の発生から消滅までのメカニズム（小さいスケールの盆地霧）

ダムが霧の発生に及ぼす影響としては、堤体によりダム下（盆地底）の風が弱まることや、ダム湖からの水蒸気の供給などが考えられる。それらを考慮し、ダム下で発生・拡大する晴天時の盆地霧の典型的なケースについて、霧の発生から消滅までのメカニズムをまとめると次のようになる（第5図）。

【発生期】

発生期は、霧発生前の条件づくりの時期（①と②）と霧の発生時期（③）に分けられる。

- ①夜半前にかけてダム湖からの蒸発による湿った空気がダム下へ流入し、盆地底地表付近の水蒸気量が増加する。
- ②その後ダム湖上には蒸発に伴う霧や層雲が発生する。ダム下は夜半過ぎにかけて放射冷却によって冷え、低温高湿になる。ダム下上空には逆転層が発生し、ダム下には風はほとんどなくなる。
- ③ダム下上空には逆転層ができているため、ダム湖上層の層雲や靄など多湿な空気がダム下上空へ流入する（ダム湖からの水平流）。ダム下の河川からは蒸発が盛んになり靄や蒸発霧（蒸発による「湯気」）が発生する。また、丘や森林などの地物にぶつかった多湿な空気塊の上昇などで滑昇霧が発生する。この時期の霧は薄く範囲が狭い上、気流が安定しておらず、飽和して間もない状態であるため、周囲の空気と混じる中で発生や消滅を繰り返す。

【変化期】

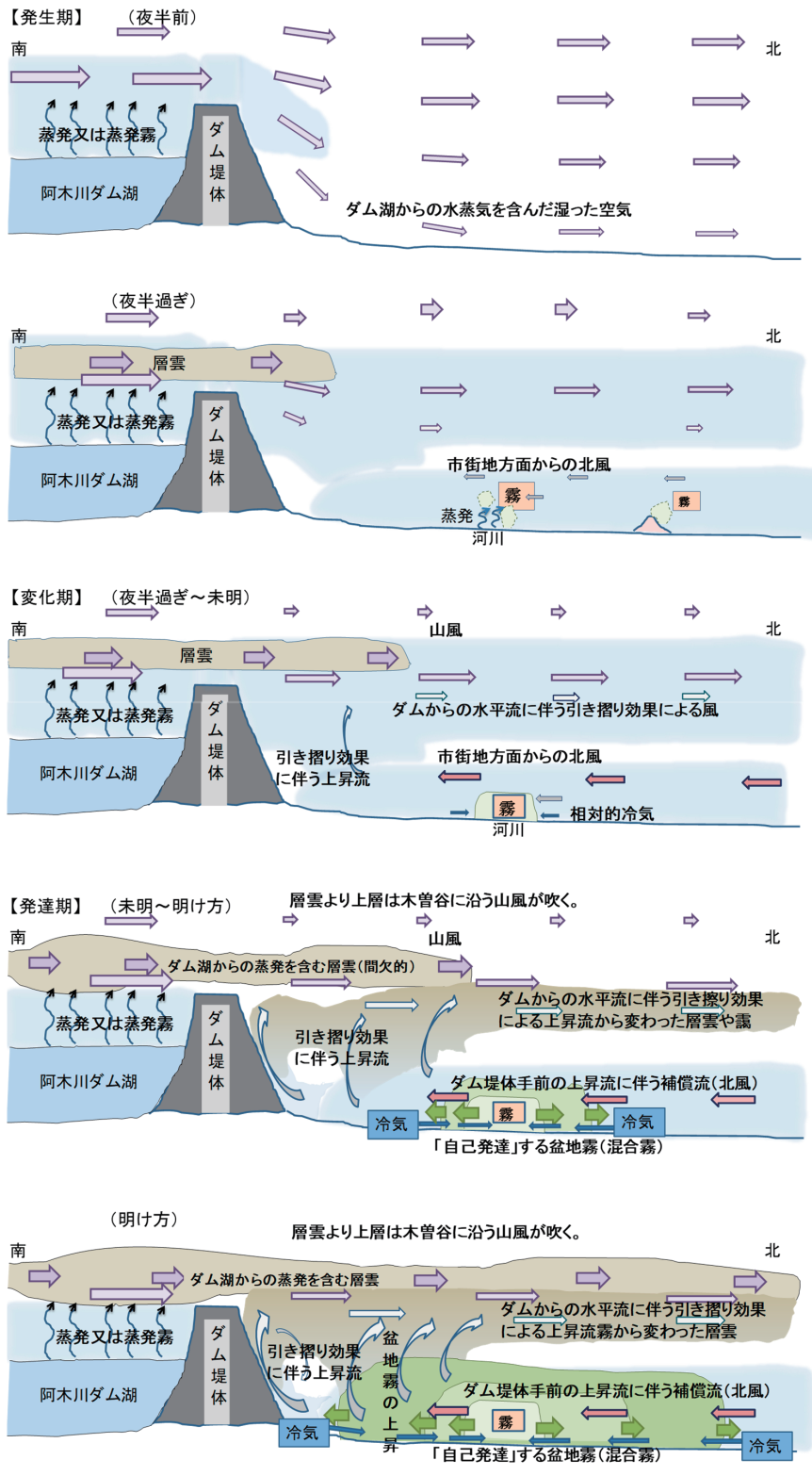
- ①川沿いに発生した蒸発霧（や靄）及び地物の影響による滑昇霧は、ごく狭い地域に発生しているが、同様な発生条件が続くと蒸発霧（一部滑昇霧を含む）が10m程度の高さで数10mの広がりとなり川岸の地域にまで拡大する（第2図b）。
- ②この段階になると、霧は発生・発達の条件が変わる。放射冷却により霧のある所とない所で気温差が生じ、周辺の霧のない所（高湿な相対的冷気）から霧のある所（高湿な相対的暖気）へ向かって風が吹き始める。これによって盆地底で霧が新たに発生し発達しやすくなる環境がつけられる。

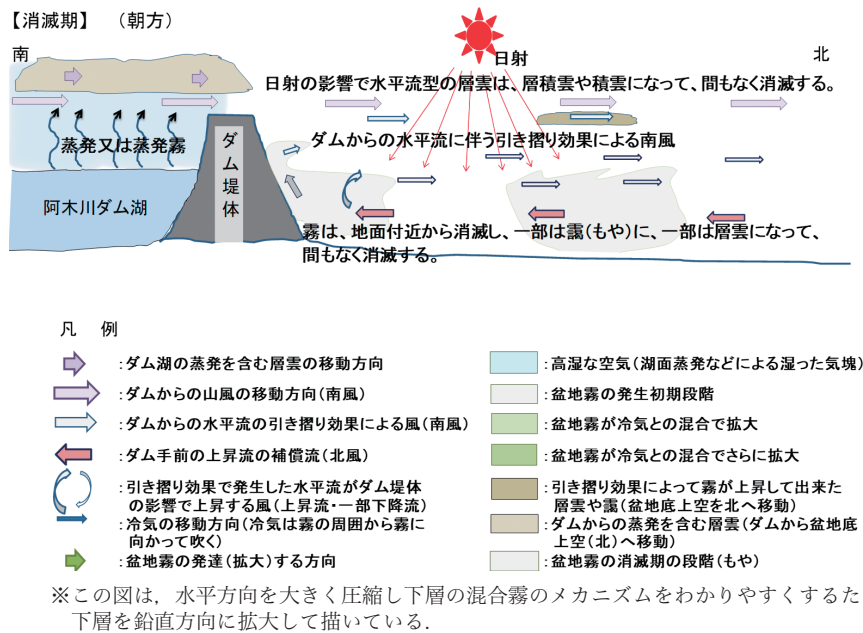
【発達期】

- ①ダム湖からの層雲や靄の層は、ダム下上層に水平流として流れる。この水平流は木曽谷沿いの山風の強弱により間欠的にダム下上層に流れる。
- ②ダム下で霧のある所の高湿な相対的暖気と霧のない所の高湿な相対的冷気とがぶつかって混合霧が発生する。
- ③混合霧は、さらにその周辺部の霧のないところの間に放射冷却による気温差を生じて周囲の高湿な相対的冷気を取り込んで混合霧を発生させて拡大する（「霧の自己発達」）。
- ④その際に、ダム湖上層からダム下へ移動する水平流の直下において、水平流（南風）の引き摺り効果によりダム堤体北側で上昇流が発生し、その補償流として恵那市街地方面から北風が吹く。
- ⑤ダム下（盆地底）の混合霧を自己発達させる温度差による風（高湿な相対的冷気）は、市街地からの北風のさらに下層、地表面に接する低い層（地上10m以下）で発生している。
- ⑥市街地方面からの北風は、上昇して、水平流の下部付近で水平流に沿った流れとなるため、ダム下上層では2層の水平流が発生する。これらの水平流は重なって1つの水平流に見える場合もある。

【消滅期】

- ①日の出とともにダム下の盆地底は昇温し、盆地霧は薄くなったり、層雲や層積雲となったりして次第に消散する。
- ②地表面が氷点下となる時間には、霧の霜化が始まり、氷点下がさらに進む未明から日の出ごろにかけて霧や層雲を急速に消滅させる。河川からの蒸発等があるところでは、霧が長続きするが、夜半前から氷点下となるなど氷点下時間が長いと霧は発生しないか明け方までに消えることが多い。





第5図 ダム下の盆地霧のメカニズム概念図。

3.3 恵那地方の盆地霧のまとめ

前述のように、木曽川沿いの広大な盆地と阿木川ダム下の狭い地域の盆地霧は、いずれも盆地底の最も気温の低いところから発生することはなかった。スケールの違う盆地底に共通する盆地霧のメカニズムをまとめると、次のようになる。

霧の発生期は川面からの蒸発や地物による気塊の上昇によって川沿いの地域に蒸発霧や滑昇霧が発生していた(発生期)。その後、霧がある程度の大きさになって川から陸側へ入ってくると、霧のあるところのないところとの間に放射冷却の違いなどによる温度差が形成され(変化期)、相対的な湿潤暖気である霧域の周囲から、相対的な湿潤冷気が侵入して混合しはじめ、その混合する部分で次々と新たな霧が発生することで霧が拡大(発達期)していた。日の出を迎えると次第に昇温し霧は消滅する(消滅期)。

これらの様子から、木曽川沿いの広域な盆地、阿木川ダム下の狭い地域の盆地に関わらず、恵那地方での霧発生においては、放射冷却だけではなく、温度の違い飽和空気どうし又はそれに近い空気が混合する過程が盆地霧形成に主要な役割を担っていると考えられる。すなわち、恵那地方のスケールの異なる2地域の盆地霧の発生から消滅に至るメカニズムは各段階でほぼ共通しており、恵那地方の晴れた夜間に発生する盆

地霧は混合霧のメカニズムが主体的に働いているものと考えられる。

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、元気象庁(気象大学校)澤井哲滋様及び編集委員の皆様には貴重なアドバイスをいただきました。心より感謝いたします。

参 考 文 献

近藤純正, 1994: 水環境の気象学. 朝倉書店, 350pp.
 水越允治, 奥 友親, 1974: 上野盆地における霧の局地気候学的研究. 地理学評論, 47-5, 313-322.
 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.
 大阪管区気象台, 豊岡測候所, 1954: 1952年秋の豊岡盆地の霧観測報告. 中央気象台研究時報, 6, 638-646.
 沢井哲滋, 1982: 霧の理解のために. 天気, 29, 731-747.
 下畑五夫, 1992: 飛騨の朝霧について. 天気, 39, 565-567.
 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
 小気候団体研究会, 2022: 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. 天気, 69, 431-440.