HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	尾瀬湿原生態系における温暖化影響
Author(s)	岩熊, 敏夫
Citation	低温科学, 80, 571-575
Issue Date	2022-03-31
DOI	https://doi.org/10.14943/lowtemsci.80.571
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/84894
Type	departmental bulletin paper
File Information	43_p571-575_LT80.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

低温科学 80 （2022）571-575
doi: 10.14943/lowtemsci. 80. 571

尾瀬湿原生態系における温暖化影響

岩熊　敏夫 1)

2022 年 3 月 5 日受付，2022 年 3 月 9 日受理

全国規模の長期温暖化現象と尾瀬に比較的近い観測所の観測結果を比較した．第 4 次尾瀬総合学術調査で重点的に調べられた湿原の洪水現象の調査結果を元に，近隣の観測所の降雨量データと比較した．湿原における河川氾濫は従来考えられていたよりも少ない降水量，すなわち日降水量が 50 mm を超えると発生する可能性があり，その頻度が近年増加していた．

Impact of global warming on Oze mire ecosystem

Toshio Iwakuma[1]

Long-term global warming phenomena were compared between nation-wide survey and the data recorded at local meteorological offices closer to the Oze area. Based on the flooding events studied intensively during the 4th Scientific Research of the Ozegahara mire, relationships between water level changes and the precipitations observed at the nearby meteorological stations were examined. The flooding in the mire took place at precipitations lower than the reported value for causing inundation. Precipitation events more than ca. 50 mm per day have been increasing in frequency, probably causing flood in the mire.

キーワード：尾瀬，温暖化，洪水，降水量，湿原
Oze area, global warming, flooding, precipitation, mire

1. はじめに

尾瀬ヶ原は阿賀野川水系只見川の源流域に位置する高地湿原（標高約 1,400 m，面積 6.5 km^2）である．尾瀬ヶ原と湿原東方の尾瀬沼（標高 1,665 m，面積 1.8 km^2）を囲む，只見川流出口（三条ノ滝）までの流域（面積は 88.8 km^2 ）を，本稿では尾瀬地域または尾瀬と呼ぶ．

第 4 次尾瀬総合学術調査は 2017 年度に 3 カ年計画で開始され，2020 ～ 2021 年度に補足調査が行われた．この学術調査に先立って，第 3 次尾瀬総合学術調査までで積み残された課題の洗い直しを行った．第 3 次尾瀬総合学術調査までには顕在化していなかった温暖化現象，特に頻発している集中豪雨が湿原生態系に及ぼす影響の実態把握と将来予測が課題としてあげられた．2011 年 7 月の新潟・福島豪雨時の尾瀬の法面崩壊と湿原の大洪水（吉井ほか, 2014）に代表される洪水現象が念頭にあった．

本稿では日本における温暖化影響，特に洪水現象について学術調査前と学術調査後とを対比しつつ，その後学術調査の実施により得られた成果と今後の課題について述べる．

責任著者
岩熊　敏夫
連絡先
東京都港区
e-mail：toshio.iwakuma@nifty.com
1）北海道大学
1 Hokkaido University, Sapporo, Japan

2. 全国的な温暖化の傾向

2. 1　100 年以上の観測に基づく温暖化傾向の把握

都市化の影響が比較的少なく，長期の観測が行われ

ている地点から，地域的に偏りなく分布するように選出された網走，山形，石垣島など全国 15 の観測地点の年平均気温の経年変化（1898 ～ 2014 年，117 年間）から，100 年あたり 1.14℃の上昇トレンドが確認されていたが，真夏日，すなわち日最高気温 30 ℃以上の年間日数（統計期間 1931 ～ 2014 年，84 年間）には変化傾向は見られなかった（気象庁，2015）．統計期間が 1898 ～ 2019 年（122 年間）に延長された 5 年後の報告では（気象庁 , 2020），年平均気温の上昇トレンドは 100 年あたり 1.24 ℃増加し，1910 ～ 2019 年（110 年間）の期間における真夏日の年間日数には有意な上昇トレンド（100 年あたり 6 日）が見られた．真夏日については統計期間の違いが大きいものの , 過去数年間の高気温が反映された結果，近年の温暖化傾向が顕著になったことが示された．

降水量については，地点間の変動を考慮して，観測データの均質性が長期間継続している山形，福島，宇都宮など全国 51 観測地点の 1898 ～ 2014 年（117 年間）の降水量データを 1981 ～ 2010 年の平均値からの偏差として解析し，年降水量には長期変化傾向は見られないことが示されている（気象庁 , 2015）．1901 ～ 2014 年（114 年間）の期間では，日降水量 100 mm 以上の強雨の年間日数は 100 年あたり 0.27 日の増加トレンドを示しており，一方で日降水量 1.0 mm 以上の年間日数は 100 年あたり 10.4 日の減少トレンドを示していた（気象庁，2015）．1901 ～ 2019 年（119 年間）の期間でのトレンドは，日降水量 100 mm 以上の強雨の年間日数は 100 年あたり 0.29 日の増加，日降水量 1.0 mm 以上の年間日数は 100 年あたり 9.5 日の減少であった（気象庁，2020）．2010 年代の多雨傾向（気象庁，2020）が反映されたと考えられる．

2. 2　約 50 年の観測に基づく温暖化傾向の把握

現在全国に約 1,300 配置されているアメダス（AMeDAS）は 1976 年に約 800 地点であった（気象庁，2015，2020）．約 40 年の観測期間は平年値算出期間の 30 年を 10 年程度上回るだけであることと，地点数が 1.6 倍に増加してきたことを考慮すると，長期トレンドを推定するには十分な期間ではない．1976 ～ 2014 年（39 年間）と 1976 ～ 2019 年（44 年間）のいずれの期間においても 1 時間降水量 50 mm 以上の年間観測回数にはそれぞれ 10 年あたり 0.021 回，10 年あたり 0.022 回の増加トレンドが見られた（気象庁，2015，2020）．また，日降水量 200 mm 以上の年間観測回数は 39 年間のデータでは変化が明瞭でなかったが，44 年間のデータでは 10 年あたり 0.021 回の増加トレンドが確認された．一方で，日降水量 1.0 mm 以上の年間日数の変動についての分析はされていなかった（気象庁，2015，2020）．

積雪量については，信頼できるデータは 1960 年代からしかないため，100 年スケールでの変動は解明されていない．北日本日本海側 12 地点，東日本日本海側，7 地点，西日本日本海側 11 地点における変動傾向は，1962 ～ 2014 年（53 年間；気象庁，2015）に比べて 1962 ～ 2019 年（58 年間；気象庁，2020）の期間でより明瞭に示された．最深積雪は 3 地域の全てにおいて減少傾向にあり，1980 年代初めの極大期から 1990 年代始めにかけて大きく減少し，それ以降は特に東日本日本海側と西日本日本海側で少ない状態が続き，経年的に減少傾向にあるが．積雪量は年変動が大きいために今後のデータの蓄積が必要であるとされた（気象庁 , 2020）．

3. 尾瀬とその周辺地域における温暖化の傾向

3. 1　尾瀬における観測結果

菊地（1999）は尾瀬の気象観測結果から，尾瀬の降水形式は夏と冬に多く，日本海側の新潟に類似し，また，平均年降水量は前橋や福島より多く，新潟に近いことなどから日本海型の気候であることを見出した．ただし，春，夏の降水形式については日本海側だけでなく太平洋側とも変わりがない．尾瀬の地点間の比較では，山の鼻の降水量は尾瀬沼よりも約 300 mm 少なく 1990 ～ 1997 年の期間，通年観測されている尾瀬沼の 1969 ～ 1998 年の期間の観測結果から，降水量は 1980 年代半ばから減少傾向にあるとした．

西村･吉弘（2008）は，1983 ～ 2006 年の山の鼻のデータから前年 12 月から 3 月までの各月の最大積雪深および年最大積雪が増加傾向にあるとしたが，日本における積雪量の年変動傾向（気象庁，2020）に鑑みると長期的トレンドの把握には観測の継続が必要であるといえよう．

3. 2　尾瀬周辺地域の気候変動について

尾瀬は東日本太平洋側（群馬県），北日本日本海側（福島県会津地方），東日本日本海側（新潟県）の全般季節予報区分（気象庁，2020）の境界に位置する．尾瀬の気候変動を 100 年スケールで推定する目的で，この 3 区分に北日本日本海側を加え，尾瀬に最も近い地域気象観測所（新潟：東日本日本海，前橋：東日本太平洋，福島：北日本太平洋，山形：北日本日本海）における 1901 ～ 2015 年のデータを解析した（表 1，気象庁 2021）．これらの観測所は尾瀬から 60 ～ 177 km 離れていることか

ら，尾瀬との気象観測結果との相関は低い．例えば，日降水量の相関係数の年平均値は，尾瀬から 20 km 以内の藤原観測所や桧枝岐観測所の 0.66 ～ 0.72 に比較して福島（相関係数 0.38），前橋（0.34），新潟（0.25）とかなり低い（岩熊・野原，2022）ことを考慮しておく必要がある．

気温の上昇率は，100 年あたり 1.41℃（山形），1.53℃（新潟），1.59℃（福島）および 1.95℃（前橋）であり，いずれも全国平均の 1.14℃／ 100 年（気象庁，2015）よりも高かった．年最高気温，年最低気温（1951 ～ 2015 年）は平均気温よりも大きな増加を示した（年最高気温で 100 年あたり 1.43 ～ 5.50℃，年最低気温で 100 年あたり 3.90 ～ 5.37℃）．しかし，平均気温について同じ過去 65 年の期間で統計を取ると，110 年以上の期間で得られた上昇率よりも高くなった（100 年あたり 1.97 ～ 2.69℃）．

次に，1901 ～ 1930 年の期間に対する 1981 ～ 2010 年の期間の気象項目平均値で，110 年間（80 年の期間間隔）の比較を行った（表 1）．

いずれの地点でも年平均湿度および夏期（7 ～ 9 月）平均湿度は減少し，乾燥化が進んでいた．日降水量 100 mm 以上の日数は多くの地点で増加する傾向は見られているが有意ではなかった．1981 ～ 2010 年の平均値は 0.20（山形）～ 0.47（福島）で夏期（7 ～ 9 月）の平均値 0.17（山形）～ 0.40（福島）に近かった．全国平均の 1.1 よりは遥かに低いが，高知（4.4）や宮崎（2.7）などの西日本太平洋側の記録が平均値を高めていると考えられる．降水日数は前橋など 4 地点のいずれにおいても有意に減少していたが，日数は 102 日から 172 日と，地点により差が見られた．

山形，新潟，福島，前橋の 4 地点で年平均気温は 1.05 ～ 1.46℃上昇し夏季（7 ～ 9 月）の平均気温は 0.61 ～ 1.38℃上昇した．

年平均湿度（%）は 5.76 ～ 8.09 ポイント減少し，夏季（7 ～ 9 月）の平均湿度は 4.06（山形）～ 9.19（前橋）ポイント減少した．一般に同じ水分量に対して気温が上がれば湿度は下がる．気温の変化量から計算される湿度の減少量を夏季について求めると，2.8（山形）～ 6.7（前橋）ポイントとなり，気温の上昇による湿度低下よりもさらに湿度の減少が起きていることが示された．新潟，福島，前橋では日降水量 100 mm 以上の年間日数が増加する傾向が見られたが有意差ではなかった．日降水量 1 mm 以上の年間日数（降水日数）は有意に減少した．年間および夏期の降水量には変化が見られなかった．

山形，新潟，福島，前橋の観測結果をまとめると，1901 年以降，年平均および夏季平均気温が上昇し乾燥化が進み，降水日数は減少する一方で日降水量 100 mm 以上の日数は増加する傾向が見られていた．

4. 第 4 次尾瀬総合学術調査で明らかになった洪水現象

4. 1　洪水の頻度

1977 ～ 2011 年（35 年間）の期間における 6 月～ 9 月の山の鼻観測所における時間降水量 20 mm 以上 30 mm 未満の記録は 34 回，30 mm 以上 50 mm 未満は 10 回，50 mm 以上は 4 回であった．2011 年 7 月の新潟・福島豪雨時の山の鼻気象観測所における日降水量は 7 月 28 日に 189.8 mm，28 ～ 30 日の降水量は 390.6 mm を記録

表 1：1901 ～ 1930 年の期間に対する 1981 ～ 2010 年の期間の気象項目の比較．矢印で二つの期間の平均値の変化を示す．気象データは気象庁（2021），尾瀬（中田代）からの距離は岩熊・野原（2022）に基づく．* p<0.05，*** p<0.001，分散分析および t 検定．

観測所（尾瀬からの距離と標高）	気候帯	期間	平均気温 (℃)	日最高気温 25℃以上の日数	平均湿度 (%)	年降水量 (mm)	日降水量 100 mm 以上の降水日数	日降水量 1 mm 以上の降水日数
山形（176.81 km, 153 m）	北日本日本海側	年	10.67 → 11.72	93.27 → 96.43	79.97 → 74.21	1233.8 → 1163.0	0.27 → 0.20	145.10 → 135.30
			+1.05***	+3.17 NS	-5.76***	-70.8 NS	-0.07 NS	-9.80***
		7 ～ 9 月	22.17 → 22.78	68.60 → 68.43	80.56 → 76.50	422.0 → 435.0	0.27 → 0.17	32.40 → 32.57
			+0.61*	-0.17 NS	-4.06***	+13.0 NS	-0.10 NS	+0.17 NS
新潟（108.23 km, 4 m）	東日本日本海側	年	12.63 → 13.85	84.10 → 93.97	78.82 → 71.25	1785.6 → 1830.5	0.17 → 0.27	178.77 → 172.17
			+1.22***	+9.87**	-7.57***	+44.9 NS	+0.10 NS	-6.60*
		7 ～ 9 月	23.58 → 24.52	68.17 → 72.80	80.34 → 74.26	461.0 → 497.1	0.17 → 0.20	32.47 → 32.27
			+0.94***	+4.63*	-6.09***	+36.1 NS	+0.03 NS	-0.20 NS
福島（143.17 km, 67 m）	北日本太平洋側	年	11.86 → 13.00	99.13 → 97.40	75.81 → 68.60	1221.2 → 1166.0	0.20 → 0.40	113.63 → 103.33
			+1.14***	-1.73 NS	-7.21***	-55.2 NS	+0.20 NS	-10.3***
		7 ～ 9 月	22.58 → 23.35	69.47 → 66.90	82.58 → 75.81	494.9 → 474.7	0.10 → 0.27	36.63 → 33.10
			+0.77**	-2.57 NS	-6.77***	-20.2 NS	+0.17 NS	-3.53 NS
前橋（60.46 km, 112 m）	東日本太平洋側	年	13.11 → 14.57	100.23 → 111.47	71.23 → 63.14	1321.4 → 1248.5	0.37 → 0.47	108.83 → 102.03
			+1.46***	+11.2***	-8.09***	-72.8 NS	+0.10 NS	-6.80*
		7 ～ 9 月	23.25 → 24.63	73.0 → 73.27	82.89 → 73.70	626.1 → 620.2	0.30 → 0.40	41.20 → 39.57
			+1.38***	+0.27 NS	-9.19***	-5.9 NS	+0.10 NS	-1.63 NS

し，尾瀬ヶ原に大きな影響を及ぼしていた（吉井ほか，2014）．吉井ほか（2014）は猫又川や川上川が氾濫して湿原が冠水する目安を時間あたり降水量 30 mm，または日降水量 100 mm 以上，または連続降水量 2 日あたり 100 mm ～ 4 日あたり 300 mm と考え，35 年間に 35 回発生したと見積もった．

第 4 次総合学術調査の期間中とその前後に，野原ほか（2021）は尾瀬ヶ原および河川の水位を自記水位計で連続観測した．2016 年 4 月から 2019 年 6 月までの約 3 年の間に，上ノ大堀川，猫又川で洪水を起こしたと見られる水位上昇が 8 回観測された．2017 年 5 月および 2019 年 5 月には融雪と降水が重なり猫又川は氾濫し，2019 年 5 月には川上川の氾濫水と合わさって上田代一帯が冠水した（福原ほか，2021；野原ほか，2021）．野原ほか（2021）は UAV による地形測量結果に水位記録を重ね合わせ，2016 年 11 月の降雨による増水時および 2017 年 5 月の融雪時の増水時における上田代の冠水マップを作成した．

下ノ大堀川では秋の台風による水位上昇と冬期間に水位が長期にわたって上昇する現象が見られ，猫又川で観測された洪水とは別に洪水に繋がったとみられる数回の大きな水位上昇が観測されている（野原ほか，2021）．

冬期の積雪時にも河川の水位情報が観測された．野原ほか（2021）は，浅田（1957）が提唱した泥炭層からの浸出現象も考慮しつつ，積雪下の泥炭表層における水の流れなど，今後解明すべき課題であると指摘した．

4. 2　降水量と洪水の関係

山の鼻気象観測所では 2016 年以降は降水量が欠測となっているので（尾瀬保護財団，2021），他の観測所のデータから尾瀬の気象･降水現象を推定する必要がある．岩熊・野原（2022）は尾瀬と尾瀬から 150 km 圏内の地上観測所における 1981 年～ 2010 年の日降水量データに基づき，2 変量混合対数正規分布に基づく空間相関を調べ，尾瀬の気象観測所との類似性を検討した．山の鼻観測所は年間を通して尾瀬の西南西から東北東を結ぶ帯状の領域の観測所とより相関が高かった．データに欠測の少ないアメダス観測所のうち，通年では藤原観測所（相関係数＝ 0.72，以下同じ），桧枝岐観測所（0.66），みなかみ観測所（0.62）が相関係数上位で，尾瀬山の鼻の降水現象を代表しうる観測所であると考えられた．これらはいずれも，尾瀬の西南側と北東の尾瀬から 23 km 以内に位置している．

野原ほか（2021）の観測した洪水を伴う水位上昇の観測日と，上記アメダス観測所の日降水量（気象庁，2021，データ処理とデータセットは岩熊・野原（2022）による）を対応させたところ，おおむね日降水量 50 mm 以上で，観測所間のばらつきも少なかった．従来考えられていた豪雨に伴い洪水よりは低いレベルで洪水が起こることが示唆された．藤原，桧枝岐，みなかみを合わせ，10 年ごとに日降水量 50 mm 以上の発生頻度を 1981 年から 10 年ごとに積算すると，1981 ～ 1990 年（79 回，地点あたり 26.3 回，以下同じ），1991 ～ 2000 年（60 回，20 回），2001 ～ 2010 年（98 回，32.7 回），2011 年から 2020 年（92 回，30.7 回）となった．観測所で 1 年あたりに 2 ～ 3 回発生し，近年その頻度が高くなる傾向が示された．これらの雨は，4 月から 11 月にかけての湿原洪水に関わると考えられる．この降水現象は積雪期の出水（野原ほか，2021）は説明していない．

4. 3　洪水が湿原生態系に及ぼす影響

阪口・相馬（1999）は尾瀬ヶ原の上田代，中田代などの泥炭表層に多くの河川由来とみられる粒子を見いだした．河川に隣接する場所に多く，第 4 次総合学術調査においても，洪水の検証が必要とされた．Murakami and Yoh（2021）は上田代，中田代，下田代に河川から湿原内部に向かうトランゼクトを設定し間隙水，土壌粒子の組成を調べ，河川由来の粒子が知る点を涵養している可能性を見いだした．福原ほか（2021）および野原ほか（2021）は上田代の池塘への影響を網羅的に調べた．いくつかの池塘底質には洪水の影響が残されていた（福原ほか，2022）．阪口・相馬（1999）の提起した湿原における洪水の痕跡は湿原の広範囲に，池塘にも見いだすことができた．

5. 今後の課題

洪水が非常に頻繁に発生する可能性が示された．気象現象は 10 年単位で大きく変動し，学術調査期間で観測されたことはそのごく一部の現象である．本学術調査においては洪水現象について集中的に調査を行った．洪水の池塘への流入は，洪水時，洪水後の目視およびドローン画像などによる濁りの有無で確認している．地形標高で推測される冠水の範囲は静水時の状況を反映するが，流速のある場合の冠水状況はこれとは異なるであろう．湿原内の洪水の流は複雑で，場所よっては池塘には流れ込まずに池塘の間を流れていることを確認している（福原ほか，2021）．一方で，上田代の池塘では池塘底からの水の流入が確認されており，河川水由来であると推定されている（野原ほか，2022）．湿原の泥炭層の水の流

れは泥炭地の成立過程に密接に関わると考えられる．長沢由来の河川水が伏流した竜宮の水の流れは長い間解明されてこなかった．第 4 次尾瀬総合学術調査では水中ドローンにより始めてその構造が明らかにされた（野原ほか，2022）．下ノ大堀川に流入することが推測されたことにより河川水系全体の把握につながることが期待される．

泥炭層より下の地下水の量と役割の解明には大規模な地下探査が必要であろう．今後の課題である．

謝辞

この調査研究は，第 4 次尾瀬総合学術調査（2017 ～ 2019 年度）の一環として行われた． 関係諸機関への現地調査許可申請にあたっては，事務局である公益財団法人尾瀬保護財団にご尽力いただいた．記して謝意を表する．本文中で引用した尾瀬ヶ原における洪水の現地調査は科学研究費補助金「ダム湖沼・湿原における環境放射能の流出評価に関する研究」（基盤研究（B），代表：野原精一）の補助を受けて行われたものである．

引用文献

浅田暢彦（1957）尾瀬原湿原の河川流出に対する影響．雪氷，**19**（**6**），169-171

福原晴夫，木村直哉，永坂正夫，野原精一（2021）尾瀬ヶ原上田代池塘群の岸辺水生無脊椎動物に与える洪水の影響．陸水学雑誌，**82**，171-188.

福原晴夫，永坂正夫，高野典礼，村田智吉，千賀有希子，藤原英史，野原精一（2022）尾瀬ヶ原上田代池塘群の底質に対する洪水の影響．低温科学，**80**，25-42.

岩熊敏夫，野原精一（2022）尾瀬地域内外における降水量の空間相関． 低温科学，**80**，549-570.

菊地慶四郎（1999）尾瀬の気候解析 気温，降水量，積雪深について，尾瀬の自然保護，**22**，8-24.

気象庁（2015）気候変動監視レポート 2014 －世界と日本の気候変動および温室効果ガスとオゾン層等の状況について－． https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2014/pdf/ccmr2014_all.pdf（2019.4.16 参照）

気象庁（2020）気候変動監視レポート 2019 －世界と日本の気候変動および温室効果ガスとオゾン層等の状況． URL: https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2019/pdf/ccmr2019_all.pdf（2020.10.4 参照）

気象庁（2021）過去の気象データ検索．URL: http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php（2021.11.14 最終参照）．気象庁（2021）過去の気象データ検索．URL: http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php（2021.11.14 最終参照）．

Murakami, H. and M. Yoh（2021）Interstitial water chemistry and soil particles determine vegetation in Ozegahara Mire, Japan. Limnology, **23**, 195-205.

西村　満，吉弘雅士（2008）尾瀬山ノ鼻地区の気象 30 年 1977 ～ 2006 年の気象観測結果による平年値と変動傾向の算出． 尾瀬の自然保護 尾瀬国立公園誕生記念号，187-199.

野原精一，村田智吉，藤原英史，福原晴夫，千賀有希子（2021）尾瀬ヶ原における湿原地形と河川・池塘環境と洪水に伴う変遷．陸水学雑誌，**82**，151-169.

野原精一，村田智吉，藤原英史，安類智仁，福原晴夫（2022）尾瀬ヶ原における湿原地下環境に関する水文地形学的研究．低温科学，**80**，43-60.

尾瀬保護財団（2021）尾瀬山ノ鼻地区気象観測資料，尾瀬山ノ鼻地区および鳩待峠気象観測資料（「尾瀬の自然保護」資料）．尾瀬生物多様性情報システム，URL: https://www.oze-fnd.or.jp/ozc/sjs/（2021.4.11 最終参照）．

阪口　豊，相馬秀廣（1999）尾瀬ヶ原の地学的諸問題．尾瀬の総合研究（尾瀬総合学術調査団 編）：85-106，尾瀬総合学術調査団，前橋．

吉井広始，鈴木伸一，片野光一，大森戚宏（2014）2011 年 7 月豪雨とケルミ - シュレンケ複合体について．尾瀬の自然保護，**36**，1-14.