

報告

ヨーロッパの2000-2001年冬期 気候とフランスブルターニュ地 方の水害特性

真野 明*・深見 和彦**・渡邊 康玄***・多々納裕一****・
渡口正史*****

Characteristics of 2000-2001 Winter Climate in Europe and Inundation Disaster in Bretagne Region, France

Akira MANO*, Kazuhiko FUKAMI**, Yasuharu WATANABE***
Yuichi TATANO**** and Masashi WATARIGUCHI*****

Abstract

From 2000 autumn to 2001 spring, winter storms with rainfalls worst in the last several decades repeatedly hit over Europe and caused severe inundation disasters. The climate is characterized by long duration of high temperature anomaly over the North Atlantic Ocean. The storms caused occasional showers and produced large accumulation of rainfall in Bretagne region. The precipitation was increasing water content in soil and showers in December 2000 and early January 2001 caused huge inundation over the lowland around Redon locating at the confluence of the Vilaine and Oust. The major damage was on personal assets, which was intensified by habitation and urbanization in the low land.

キーワード：ブルターニュ，水害，ヨーロッパ，冬期気候，偏西風，長雨，土壤水分の飽和，

Key words: Bretagne, inundation disaster, Europe, winter climate, westerly wind, durable rainfall, soil water saturation

* 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター
Disaster Control Research Center, Tohoku University
** 独立行政法人土木研究所水工研究グループ
Hydraulic Engineering Research Group, Independent
Administrative Institution Public Works Research Institute
*** 独立行政法人北海道開発土木研究所環境水工部環境研究室
Water Environmental Engineering Division, Civil
Engineering Research Institute Independent
Administrative Institution

**** 京都大学防災研究所総合防災研究部門
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto
University
***** 財団法人河川環境管理財団研究二部
Foundation of River and Watershed Environment
Management

本報告に対する討論は平成15年2月末日まで受け付ける。

1. はじめに

2000年秋口から2001年の春先にかけて、ヨーロッパでは数10年から100年に一度の規模の大雨あるいは洪水が各地で起こり被害がでた。これらは、波状的で、起こる場所は転々と変わった。フランスでは2001年1月5日から7日にかけて、北西部ブルターニュ地方で大雨が降り、ヴィレンヌ川の下流のルドン市では土地利用計画の対象洪水である1995年洪水の浸水高を数ヶ所で超えた。また、同年4月7日から5月2日の期間には、北フランスのピカルディ地方で大雨が降り続き、4月の1ヶ月降水量は1873年以降最も多いものとなり、これによりソム川が長期間氾濫した。

河川環境管理財団は、フランスのこの2つの水害とライン川総合計画を調べることになり、真野明を団長とし、渡邊康玄、深見和彦、多々納裕一、渡口正史からなる調査団を編成し、2001年7月15日から7月25日の期間フランスおよびドイツに派遣した。調査は、国、県、市町村関係者からの聞き取り、現地視察、資料収集によった。ブルターニュ地方では、調査の時点で水害から半年が経過していて、フランス政府の調査団による調査報告書（以下、「フランス政府報告書」と略す）がちょうど完成したところであり、これを貰い受け帰国後一部分を翻訳した。この調査は、洪水の形態や人々の対応の特性を調べることで、フランスにおける防災システムとして全国に展開されている自然災害防止計画PPR (Plans de Prevention des Risques Naturels Previsibles) と土地利用計画POS (Plans de Occupation des Sols) を調べることで、自然環境と治水の調和を図ったライン川総合計画を調べることで3つの目的をもって実施され、その成果は「フランスにおける水害調査等報告書—2000～2001年洪水—」（以下、「財団報告書」）にまとめられた。

今回のフランスの水害をもたらした大雨は、2000年秋から2001年の春先にかけてヨーロッパの各地で大雨を降らした気象システムの一つの現れと考えることができ、この機構が明らかになれば、フランスで起こった現象も理解が深められることになる。そこで、種々の時間スケールの地

上および高層天気図を使って、気象現象に関する考察を行った。これを第2章にまとめてある。水害についての報告はブルターニュ地方のものに限ることにした。流出特性、被害の特徴について第3章以降にまとめる。

2. 2000-2001年冬期ヨーロッパの気候の特徴

NASAが支援し、アメリカ合衆国ダートマス大学が実施する洪水観測プロジェクトは、各種衛星を使って世界中で起こっている大規模水害の浸水域を監視するとともに、各種報道機関のニュースや、公的機関が実施している水害調査の取りまとめなどの情報を収集し集約して、世界の大洪水のカタログ (<http://www.dartmouth.edu/artsci/geog/floods/index.html>) を整備してきている。このカタログから、2000年秋から2001年春にかけての、ヨーロッパに関係するものを拾い出してみると、いかに大規模な洪水が多かったが分かる。

2000年10月11日から14日にかけて、イギリス南東部のイングランド南部、東・西サセックス、ケント北東部の各地方で40年間の最大という雨が降り、59億ドルの被害がでた。BBCによると、東サセックスで3日間雨量が180mm、1日雨量が130mmとなっており、日本の大雨と比べると一桁少ない。10月14日から21日にかけては、イタリア北部で5日間大雨が降り続き、ポー川の水位が半世紀最大を記録し、泥流が発生した。10月20日から25日には東スペインで大雨が降っている。10月29日から11月15日の期間には再びイギリスを襲い、北西部のウェールズ、スコットランドで大雨が降り続き、これらの地方の多くの河川で過去50年間最大の洪水流量を観測している。被害額も30億ドルと見積もられており、最初の洪水の被害額に匹敵する額となっている。

年が明けて、2001年早々の1月3日から7日にかけて、フランス北西部ブルターニュ地方とベルギー南部で大雨が降り、ブルターニュ地方を流れるヴィレンヌ川の下流のルドン市ではPPRの計画洪水である1995年洪水の浸水高を数ヶ所で

超えた。ブルターニュ地方の雨量は後で詳しく述べるが、2日間で110 mm、1日で60 mm程度である。1月26日から1月29日には北・中央ポルトガルで過去100年間の最大降雨があり、人工衛星で判別した洪水の地理的な広がりには1万平方キロに達した。

3月4日から17日にかけては、中央ヨーロッパの西ウクライナ、北ハンガリー、北ルーマニアで大雨が降り雪解けを誘発して大きな被害をだした。3月6日から翌7日にかけては、スペインで40年間最大の雨が降った。3月21日から3月28日には、北・中央フランスで雨量が平年値の2～3倍に達する雨が降り、パリ周辺でセヌ川が溢れ、中央フランスでローヌ川が破堤して大きな被害がでた。この間、3月21日から翌22日にはポルトガルでも大雨が降っている。4月7日から5月2日のほぼ1ヶ月弱の期間には、北フランスピカルディ地方で大雨が降り続き、4月の1ヶ月降水量100 mmは1873年以降最も多いものとなり、先行降雨の影響も加わってソム川が長期間氾濫した。4月22日から26日には、南ポーランドで大雨が有り、数千ヘクタールの土地が水に浸かっている。

図1にブルターニュ地方で雨が降り始めた2001年1月3日フランス現地時間0時の地上天気図を示す。ニューファンドランド沖に温帯低気圧が次々に現れ、北大西洋を東に進みながら発達し、そこから伸びる寒冷前線や閉塞前線がブルターニュ地方を通過して雨を降らせたことが分かる。低気圧1個の広がりには700 km程度でメソ α スケールの気象擾乱である。隣り合う低気圧の間隔は経度で20度程度、距離に直すと1500 kmで、その距離を約1日かけて東進している。場所を固定して見ると、日々新しい前線が通過して雨を降らせていることになる。

図2は日本の気象庁による同日のグリニジ平均時12時(フランス時間13時)の地上天気図であり、気圧(実線)と気温(破線)の分布が示してある。西経50度、30度、10度に低気圧があり、西経0度-10度付近で暖気が北に大きく流入していることがわかる。一方、西経70度、北緯70度付

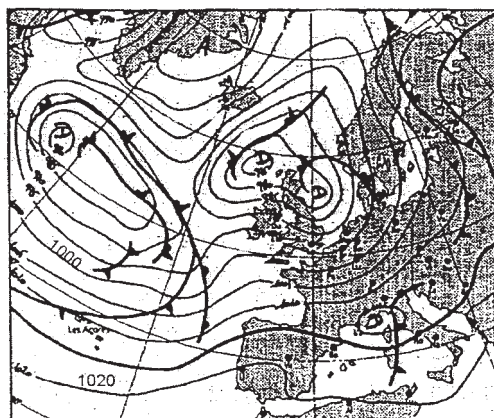


図1 フランス時間2001年1月3日0時のヨーロッパの天気図(等圧線は5 hPa 間隔, LeMonde)

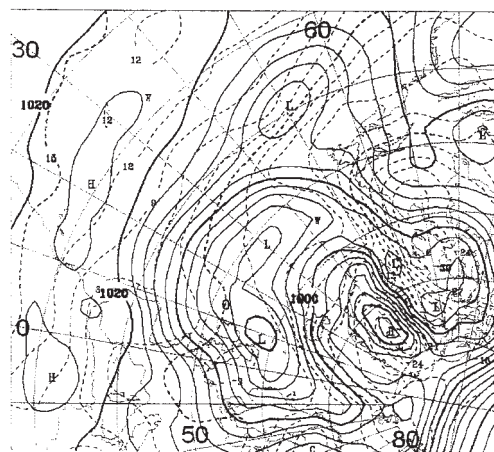


図2 グリニジ平均時間2001年1月3日12時の地上天気図。実線は等圧線で5 hPa 間隔, 点線は気温で3度間隔。(気象庁)

近には-30度の寒気団があって、北緯30度付近まで南下している。

図3は同時刻の高層天気図で、500 hPa 気圧面の高度分布と温度分布を示している。北緯40度付近に偏西風帯が形成されており、その北端で西経60度の地点に-30度の寒気団が伸びている。500 hPa における気圧の谷は西経60度、34度、10度付近にある。地上の気圧の谷と比べると、西にある低気圧ほど、500 hPa における気圧の谷の

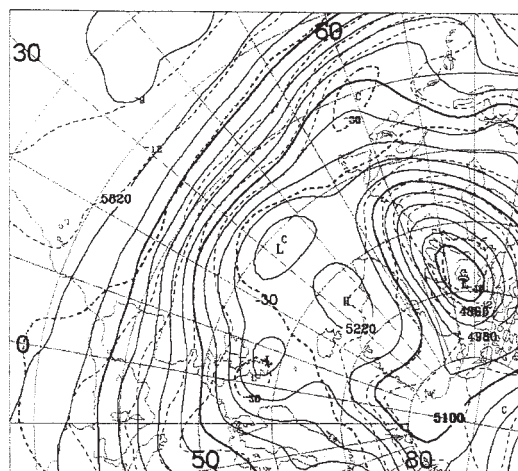


図3 グリニジ平均時間2001年1月3日12時の高層天気図。実線は500 hPa気圧面の高度分布で60 m間隔、点線は気温で3度間隔。(気象庁)

位置とずれが大きくなっている。特に西経10度の低気圧を見ると、下層に暖気があり、中層には孤立した冷気があり、不安定な成層となっている。

偏西風帯における温帯低気圧の発生・発達機構によれば(例えば、小倉義光, 1988), 発生・発達期の低気圧は気圧の谷の軸が高さとともに西に傾き、発達を終えた低気圧は気圧の谷の軸がほぼ鉛直に立っている。これから、図2にある西経50度と西経10度の低気圧はそれぞれ発生過程と十分に発達した過程のものであることがわかる。また図1で、ブルターニュ地方を通過することになる前線をもつ低気圧は、図2で西経30度の低気圧に対応し、発達段階にあるものである。

図4は同じく日本の気象庁が作成した北半球の地上気圧分布図で、2001年1月1日から5日の平均を取ったものである。北大西洋から北海にかけての海域に大規模な低圧帯が形成され、その中心はスコットランド沖にあって980 hPaまで下がっており、平年値より15 hPa以上低い。低圧部は広がり東経40度、南北30度におよび、2000 km程度のスケールをもっている。これは、1個の低気圧のスケールより大きく、複数個の低気圧がこの海域を通過し、5日間の気圧の平均を

取ったときに現れた低圧帯と考えれば図1と矛盾しない。

図5は、図4に対応した500 hPa面での高度分布である。北緯40度付近に強い偏西風帯が形成され北半球を取り巻き、それに波動成分が重なり蛇行している。図2で見た1月1日から5日の北大西洋における低圧部はこの高層気圧分布にも現れ、偏西風帯はここで南に少し張り出して蛇行していることがわかる。

この時期、500 hPaの強風軸は、イベリア半島の北海岸からスカンジナビア半島にかけての上空を通過しており、ブルターニュ地方では雨域が南西から北東に徐々に移動したことがフランス政府報告書に記されていることと整合する。

次に、なぜ温帯低気圧が次々に発生・発達したのか、またなぜ半年もの長い間繰り返す、記録的な大雨が生じたかなどの疑問について考える。

NOAAの下部機関である、気候予報センターCPCの異常気温に関するデータベース(http://sgl51.wwb.noaa.gov:8080/cgi-bin/pdisp_cams_temp.sh)によると、2000年9月にニューファンドランド沖に、東西30度、南北10度の広がりをもって、平年値より1.0-2.5度高い海域が現れ、発達減衰の過程を経て2001年2月まで存在したことが分かる。また、磯部英彦(2001)はヨーロッパにおける2000年の9月から11月の3ヶ月平均気温を調べ、ヨーロッパ東部と北部で顕著な高温が続き、特に北部では平年より2度以上高いことを指摘している。

一方、寒気団に関してはあまり明確な異常低温の分布は上のデータベースに現れてこない。これは寒気団の継続時間が数日のオーダーで、異常気温を検出するための平均化時間が1ヶ月あるいはそれ以上であることから検出されにくいと考えられる。例外は、2001年の3月から4月にかけての期間であり、この間カナダの東海岸では2度以上の低温異常が広く分布している。カナダ東部には寒気域が長期間存続しており、その東端付近で低気圧が次々に発生し、東に移流している。フランスのピカルディ地方における春先の長雨は、この寒気団が関係していると推測できる。

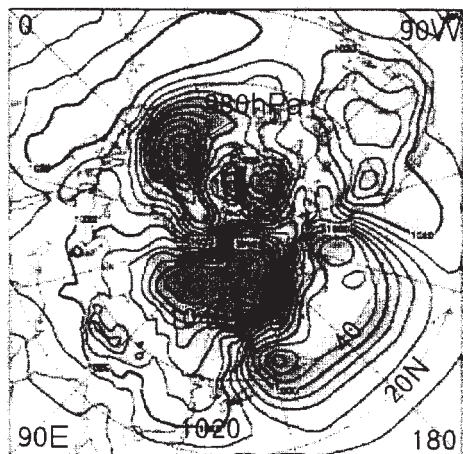


図 4 グリニジ平均時間 2001 年 1 月 1 日から 5 日までの 5 日間平均地上気圧分布。等圧線の間隔は 4 hPa (気象庁)。

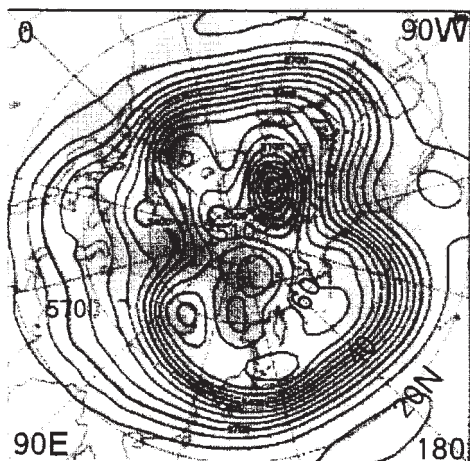


図 5 グリニジ平均時間 2001 年 1 月 1 日から 5 日までの 5 日間平均高層天気図。実線は 500 hPa 気圧面の高度。等高線の間隔は 60 m (気象庁)。

日本の気象庁による地上及び高層の天気図を見ると、2000 年 10 月 11 日から始まるイングランドの洪水ではグリーンランドからニューファンドランドにかけて、また同 10 月 14 日から始まるイタリアの洪水ではイベリア半島に、同 10 月 20 日から始まる東スペインの洪水ではニューファンドランド付近に、同 10 月 29 日から始まるウェール

ズではグリーンランドとニューファンドランドにそれぞれ寒気団が南下してきており、温帯低気圧発生発達環境が整っている。

以上をまとめると、2000 年 9 月頃からニューファンドランド沖に、通常より 2 度程度高い暖気団が発達して約半年間存在していたところに、グリーンランドやニューファンドランド付近に断続的に降りてきた寒気団が温度傾度を高めて次々に温帯低気圧を発生させ、これが偏西風に乗って東に移流しながら発達し、ヨーロッパの各地に大雨を降らせたと考えることができる。

3. ブルターニュ地方の流域概況

ブルターニュ地方の地質は先カンブリア紀と古生代の岩石からなり、いくつかの大規模な花崗岩の貫入を伴うアルモリカ山塊と呼ばれる地塊から構成されている。古生代後半、石炭紀後期から二畳紀後期に始まったパリスカン造山運動により形成された地形構造である。古生代の岩石は頁岩、砂岩等からなり、先カンブリア紀の岩石は変成岩や火成岩からなる (Clifford, 1984)。ブルターニュ半島の内陸部は古生代の岩石が主で、半島周縁部に花崗岩等が見られる。

ブルターニュ半島の最高標高は 383 m である。後述するヴィレンヌ川本川の源流域に当たる半島付け根の山地においても、250 m 程度の標高しかない。このようにブルターニュ地方のほとんどは低標高の土地であるが、日本の沖積平野にみられるような平坦地ではなく、ゆるやかに起伏している点の特徴である。ただし、河谷部には堆積平野が形成され、しばしば低湿地となっている。ブルターニュ地方の土地利用をみると、森林被覆率は約 11 % と少ない一方で、農地が約 67 % を占め、畜産のための放牧地も多い。1 戸あたりの農地面積は 29.9 ha (1996 年) であり、日本の 1.6 ha (1995 年) の約 19 倍に相当する。しかし、フランス全体での平均 (39 ha) よりは劣るため、さらなる農地の大規模化を推進してきた経緯がある。

ブルターニュ地方は、一般に 25 の主要な河川流域とその他の小さな流域に区分される。ヨーロッパ大陸から西に細長く突き出たブルターニュ半島

の山地は半島の北側に偏っていることから、北側の海へ流れ込む河川流域のほとんどは流域面積が500 km²程度以下の中小流域となっているのに対し、半島の南側においては、西から東へ順にオネ川(1,230 km²、流域面積は主要水位観測点上流を対象。以下同じ)、エレ川(578 km²)、ブラヴェ川(1,951 km²)、ウスト川(2,465 km²)、ヴィレンヌ川(4,138 km²)といったように、比較的大きな流域面積を有する河川が多い。このことが、ヴィレンヌ川・ウスト川をはじめとするブルターニュ地方南部における諸河川において、秋から冬にかけて時々発生する記録的な長雨により、洪水災害が発生する一つの背景になっていると考えられる。

ブルターニュ半島南部の諸河川の年平均比流量はいずれも0.5~1 m³/s/100 km²程度である。大部分が2 m³/s/100 km²以上とされている日本の河川(坂口豊, 1986)と比べると、かなり小さいと言える。月別の河川流量をみると、夏の7~8月が最も少なく冬の1~2月が最も多くなっており、降雨量とほぼ同様に日本の季節変動とは全く逆の傾向を示す。

ヴィレンヌ川は、ルドンでウスト川と合流し集水面積は約10,000 km²となり、さらに幾つかの小河川を合流した後、ガスコーニュ湾(ビスケー湾)に出る(図6)。ルドン市の市街地は、両河川の合流する谷底平野に面している。ウスト川右支川のアルツ川やヴィレンヌ川左支川のイザック川の合流点も同じひとまとまりの平野域にある。同市は河口からは約40 kmの地点にあるが、平時は海面と水位差が1 m程度しかなく感潮区間となっている。その谷底平野の標高は大部分が5 m以下となっており低湿地が多くを占めるが、近年その中の微高地に工業団地等の造成が進んでいたため、洪水被害を増大させる要因となった。なお、ルドン市が属し、ヴィレンヌ川流域の大部分を占めるイレ・ヴィレンヌ県は、人口84万5千人(1996年)であり、ブルターニュ州の中で最大の就労人口を抱えている。

4. 2000~2001年冬期の洪水現象

4.1 気象概況

ブルターニュ半島南岸域の諸流域では、2000年12月から2001年1月にかけて集中的に洪水

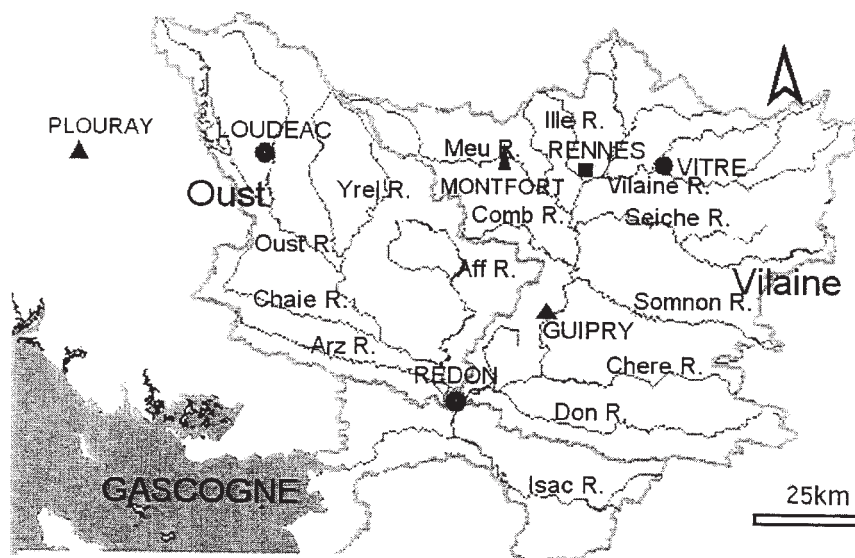


図6 ヴィレンヌ川とウスト川の流域 (Reseau National des Donnees sur l'Eau を編集)。太くて薄い線は流域界、細く濃い線は河川、黒丸は都市、▲は観測所。

災害が発生した。この洪水は、2000年9月以降の記録的な累積降雨量によって準備されたと考えられている。2000年7月に、レンヌにおいて平年月降雨量の3倍もの降雨量を観測したが、翌8月は全般的に平年並みであった。しかし、9月18～19日の強雨が、2001年3月までほとんど絶え間なく降り続ける多雨期間の端緒となった。ウスト川上流域付近にあるプルレイ地点の日降雨量観測値によると、9月1日から1月6日までの実質4ヶ月間に1,007 mmを記録している(図7)。この累積降雨量は、平年の年間降水量の約80%に達し、1年の内の当該期間における平年降雨量の2～3倍に達する。雨域はブルターニュ地方の南西部から北東方向に向かって断続的に発生し移動していったという。10月も平年の2倍程度の降雨量が観測されており、これらの長雨で11月初めからはほぼ土壌は飽和状態が継続したものと推定されている。

このように降雨量が記録的に累積しつつある状況下において、およそ1ヶ月に1回の割合で集中的な短期間(2日)降雨がブルターニュ地方を襲った。最初は、11月11～12日であり、ウスト川中流域周辺の60～70 mmを最大として、ヴィレンヌ川流域を南西から北東に縦断する2日雨量の細長い分布が形成された。次は12月11～12日であり、ブルターニュ半島西部域の100 mm超をピークとして幅広い雨域が形成された。そして、年が明けて2001年1月3～4日にブルターニュ半島のほぼ全域が50～80 mmの等雨量線図で覆われる降雨に襲われた(図8)。このとき、後述するようにルドン市を含むヴィレンヌ川下流域では一連の洪水中最大規模の出水となり、河谷部の低平地のほとんどが水没する被害となった。その後も長雨傾向が続く中で1月20～23日、および、3月23～24日に集中的な豪雨を記録している。

フランス政府報告書は、長期の日降雨観測データを有する数地点の雨量観測所のデータ解析結果を総合的に評価し、2000年12月～2001年2月の3ヶ月雨量は50～70年の再現期間に相当するとしている。

すでに議論したように、ブルターニュ地方(特

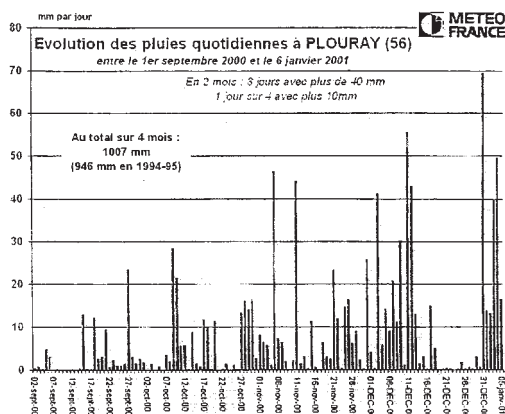


図7 プルレイにおける、2000年9月から2001年1月までの日降水量の時系列(フランス政府報告書)。

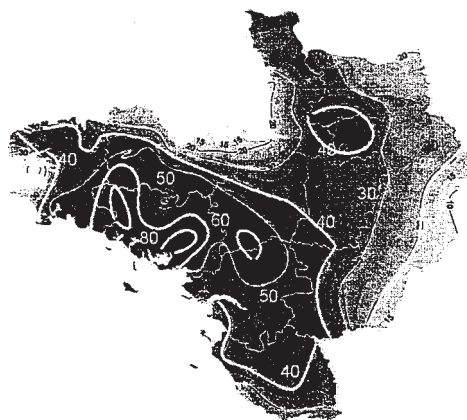


図8 ブルターニュ地方における2001年1月3～4日の総降水量分布(単位 mm, フランス政府報告書, 付録 A)。2日間雨量の最大値はガスコーニュ湾に面した、西部に現れ80 mmを少し超える。

に南岸向きに流れる河川)の洪水を引き起こす降雨の時間スケールとして注目されているのは日単位以上(～数ヶ月)のスケールである。今回のブルターニュ地方の長期間にわたる一連の強雨傾向を代表しているとみなされているプルレイ地点の降雨観測値をもとに時間単位の降雨量をみてみると、特に大きな降雨量を記録した2000年12月1

1-12日、および、2001年1月3～4日においても、最大値でも9mm/hを超えていない。

4.2 出水および洪水氾濫の概況

上に述べたように、2000年9月以降に長雨傾向が継続する中で、11月以降は表層土壌が恒常的に飽和していた。そこに2日程度の降雨継続時間を有する強雨（但し時間強度は10mm/hを超えていない）が11月以降1ヶ月に1回程度の頻度でブルターニュ地方を襲い、ヴィレンヌ川を含むブルターニュ地方南岸域の諸河川で大きな洪水ピークを形成することとなった。

まず、2000年11月降雨では、ウスト川中流域周辺に最大雨量が記録されたこともあり、ヴィレンヌ川流域全体の中で中央部から北部にかけての中小スケールの支流（イレ川、ム川等）等で大きな増水を記録した。2000年12月降雨では、ブルターニュ西部のオデ川、イゾル川、エレ川等で既往最大流量（比流量にして $0.4\sim 0.6\text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ）を記録した。図9にム川モンフォルトにおける比流量のハイドログラフを示す。そして、2001年1月初めの降雨では、ブルターニュ西部では12月降雨のときの流量を超えることはなかったが、ブルターニュ地方東部のほぼ全域、特にヴィレンヌ川の全流域で、今回の一連洪水のなかでも

最大規模の増水を引き起こした。特にルドン市周辺の低地域（すなわち、ヴィレンヌ川本川にウスト川等の大きな主要支川がまとまって合流する低地帯）の一角で大規模に洪水氾濫が発生し、マスコミで大々的に報道され、ジョスパン首相が当地を訪問したのはこの洪水によるものであった。図10に浸水域を、また写真1と2に浸水状況の写真を示す。1月20～23日を中心とする強雨では、特にヴィレンヌ川流域中央部の支川、ム川、ランス川で大きな出水となった。3月23日～24日を中心とする強雨では、レンヌ市やヴィトレ市といったヴィレンヌ川上中流域で洪水氾濫が発生し、これらの区間では1月初めの出水を超える水位を記録した。

ヴィレンヌ川は、今回の2000-2001洪水以前にも何回か大きな洪水被害を受けている。ヴィレンヌ川最下流（但し、最大の支流であるウスト川やシュール川、ドン川、イザック川の合流点よりも上流側）の水位流量観測基準点であり、ルドン市から約30km程度上流側にあるギプリ観測所（流域面積 $4,138\text{ km}^2$ ）において、水位が4.0mを超えるような洪水時の水位観測資料は、最も古いもので1846年が2回記載されている（図11、DDE（建設省地方整備局）ルドン事務所資料）。そ

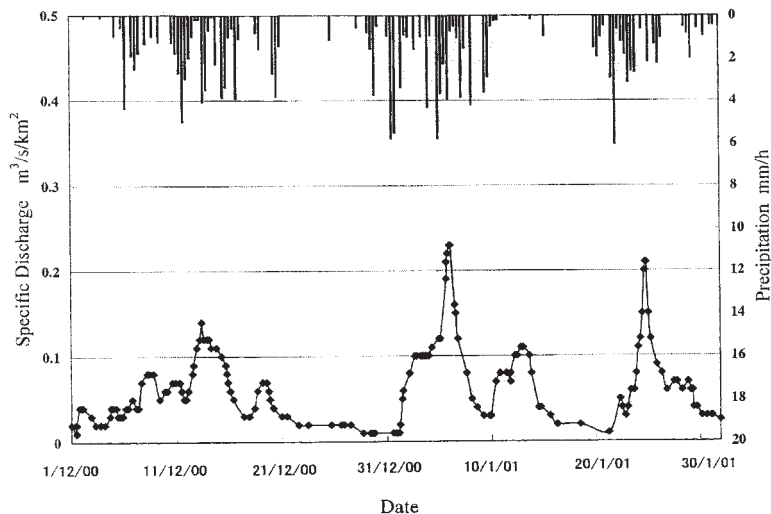


図9 ヴィレンヌ川の支川ム川の流量観測所モンフォル（集水面積 468 km^2 ）における比流量と時間降水量変化（フランス政府報告書、付録A）

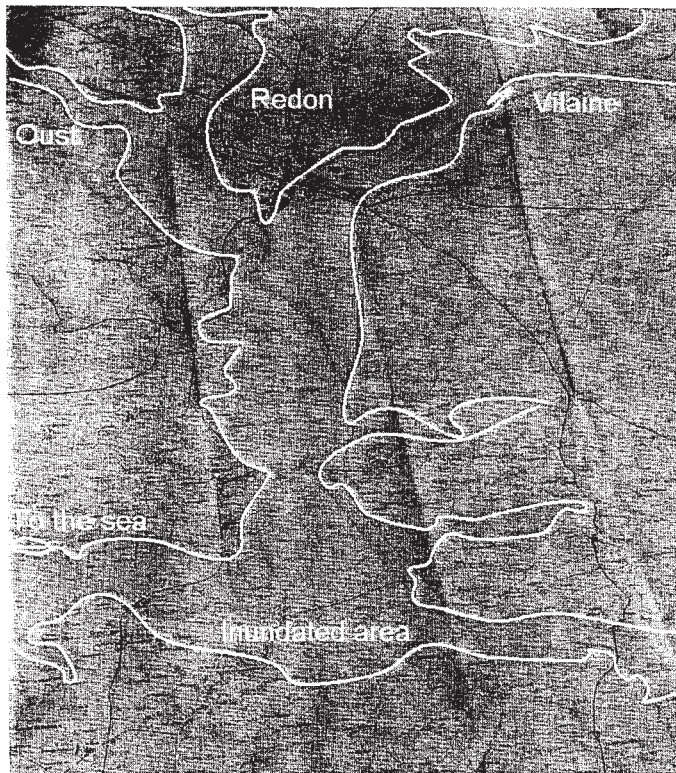


図 10 ルドン市周辺における浸水域を白線で囲ってある。ヴィレヌヌ川とウスト川の合流地点にルドン市があるが、都市化に伴い洪水の度に水に浸かるような低平地に住宅が建てられるようになり被害が大きくなった (DDE 資料)。

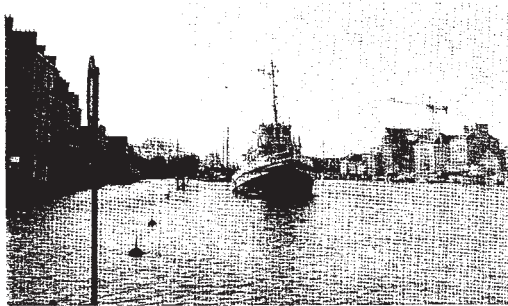


写真 1 ルドン市内の浸水状況、ヴィレヌヌ川と道路の区別が欄干の頭によって分かる (DDE 資料)



写真 2 水没した谷底平野 (DDE 資料)

れ以降、1879年、1881年、1882年、1904年、1910年、1930年、1931年、1936年、1941年、1966年、1981年、1995年に大きな水位を記録した洪水として記載がある。フランス政府報告書

では、今回の2000-2001洪水について、過去の1936年、(ルドン事務所資料に記載されていない)1974年、及び1995年洪水が特に大きな洪水であったとして比較している。1936年洪水も含め

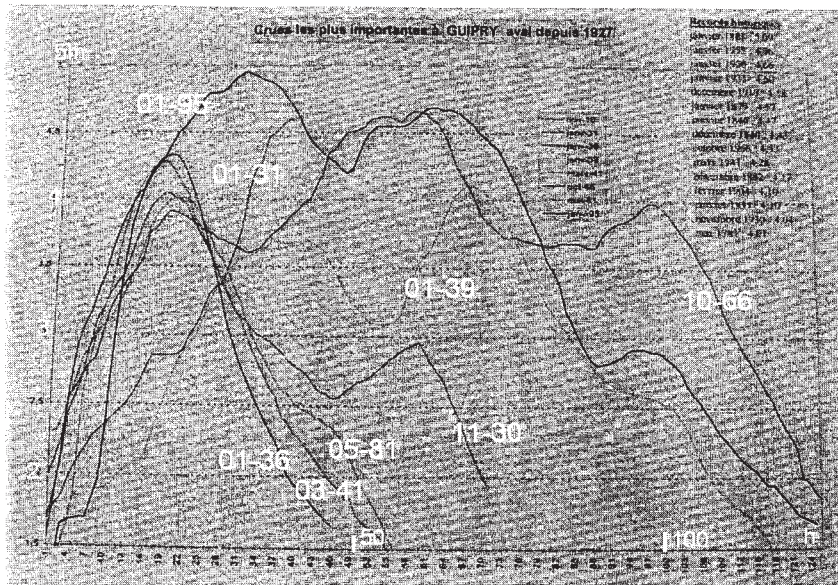


図 11 ルドン市上流のギプリ水位流量観測所（ヴィレンヌ川本川）における過去の主要洪水のデータ（DDE 資料）。横軸が経過時間で 130 時間まで取ってある。縦軸は水位である。過去の洪水で水位の高いものから、1981 年 1 月 (5.09 m)、1995 年 1 月 (4.96 m)、1936 年 1 月 (4.66 m)、1931 年 1 月 (4.60 m)、1910 年 12 月 (4.58 m)、1857 年 1 月 (5.57 m) など 15 個の記録が右上に記載されているが、ハイドログラフが描かれているのは、1995 年 1 月のもの (01-95 と記載) など 8 個である。1 月のものが圧倒的に多い。

た比較はヴィレンヌ川ではなく、西隣のブラヴェ川流域を対象に行っており、2000-2001 年洪水の特徴について、1) 1936 年の洪水と非常に類似しており、2) 48 時間平均 (累加) 流出量や 10 日間平均 (累加) 流出量では 25~35 年程度の再現期間に相当し、3) 3 ヶ月間総流出量では既往最大であり 70 年以上の再現期間に相当する、と分析している。

上記のルドン事務所資料によると、ヴィレンヌ川ギプリ地点については、過去では 1936 年と 1995 年洪水が特に大きなものであったことが読みとれる。1995 年洪水は水位ピーク値 (～ピーク流量) と高水位継続期間 (～総流出量) の両者とも大きく、全体の洪水規模として既往最大であったと見られる。1936 年洪水は、高水位継続期間は 1995 年と同程度であるが水位ピーク値が若干小さい (表 1)。一方、フランス政府報告書によると、ギプリ地点の流量観測値の信頼性は低いと前置きしながらも、ギプリ地点のピーク流量につい

て 1995 年 1 月の $490 \text{ m}^3/\text{s}$ に対し、2001 年 1 月は $585 \text{ m}^3/\text{s}$ としている。ヴィレンヌ川流域の他の上流側観測所や支川基準点の観測所の流量データを参照しても、ピーク流量についてのみ着目すれば、ほとんど 2001 年 1 月洪水が 8 割方 1995 年洪水を上回っている。

但し、ルドン市付近の低地域に流入する洪水はギプリ地点からの流量だけではない。ヴィレンヌ川へギプリ地点より下流で流入するシェール川、ドン川、イザック川、ウスト川、及びウスト川流量基準点より下流で流入するアフ川、アルツ川の流量も考慮する必要がある。列記した順にそれぞれの支川の 2001 年 1 月洪水時のピーク流量を記すと、105, 144, 180, 446, 75.5, 56 (単位は m^3/s) である。当然単純に足し合わせることはできないが、ルドン市周辺の低地に流入した洪水流量の規模をおおよそ理解できよう。

一方、洪水氾濫 (氾濫水位) についてみると、フランス政府報告書はヴェレンヌ川では 1881 年

表 1 ルドン周辺で高い水位を記録した4つの洪水(フランス政府報告書)

場所	水位(m)	年/月	水位(m)	年/月	水位(m)	年/月	水位(m)	年/月
ギブリ下流	5.17	1901/1	5.09	1881/1	4.96	1995/1	4.66	1936/1
ルドン上流	5.38	1936/1	5.35	1995/1	5.34	2001/1	5.10	1931/1

以来120年間で場所により11~18回程度の甚大な洪水氾濫が生じたとし、2001年1月の氾濫水位は多くの地点で1995年洪水時の氾濫水位を更新しているが、1881年もしくは1901年の既往最大水位には及ばず、観測開始以来2位程度の氾濫水位を記録したことを指摘している。但し、ルドン市の氾濫水位は、この傾向の中では例外で、1936年、1995年の氾濫に次いで史上3位の記録となっている。この全体分析より、1) ヴィレンヌ川では10年に1回程度は重度の洪水氾濫災害が発生していること、2) 2001年1月の洪水は、その中で既往最大ではないが、最大規模に近いものであったこと、を報告している。

これらのピーク流量、ピーク水位に関する観測データにも拘わらず、フランス政府報告書の論旨、および現地調査でヒアリングを行った際の現地担当者の共通認識は、2001年1月洪水は、水位は極めて高く甚大な氾濫をもたらしたが、洪水現象そのものについてみれば必ずしも例外的な事象ではなかったというものである。データに基づいて言えば、上述のブラヴェ川における頻度分析において示唆されているように、ピーク流量ではなく総流出量としてみたとき、2000年1月出水が必ずしも例外的な事象ではなかったことに論拠をおいていると考えられる。ヴィレンヌ川流域自身のデータでこのことを定量的に比較した記述は昨年7月時点での政府調査報告書には残念ながらみられない。しかし、現地ヒアリングによると、ルドン市周辺で甚大な氾濫被害をもたらす高水位が継続した期間をみると、1995年は14日間に及んだのに対し、2001年は2~3日間のみであったとのことであった。日本においても、洪水氾濫をある程度許容した水害に強い社会を構築していく必要性が指摘されてきているが、その場合には、ピーク流量のみならず、ある水位レベル以上の洪水継続時間、および、それと相互に影響を及ぼし合う

氾濫規模や氾濫継続時間の予測・制御も、重要な課題になることを示唆している。

4.3 洪水・氾濫による被害の概況

今回の洪水災害による死者はゼロである。けが人の統計はない。11月以降の強雨によるブルターニュ州と隣接県における被災市町村数、避難住民数を表2に示す。一連の洪水による被害総額は、機関によって見積もりが変動するが、およそ8億7千万フランスフラン程度と推定されている。ここで、2001年7月現在で、1フランスフランは約16円である。ある機関の見積もりによると、個人資産の被害が41%程度と最も大きく、企業資産と公共資産の被害がともに28%程度、農業被害は3%程度である。実際に氾濫した領域の大部分は農地であったと考えられるが、その被害が小さいのは、収穫後の冬季の洪水であったためである。

個人被害では、水害の危険性に対する意識が低く、昔からの被害軽減の知恵が忘れられつつあることが指摘されている。例えば、川沿いの家屋は、以前は高床式で1階は倉庫としていたという。1995年の大洪水の後、河口に潮汐による水位上昇を防ぐ治水目的も含んだ堰が完成したが故に、住民の間で、もはや洪水氾濫が起こることはない、という意識が広まってしまったことも影響したといわれている。

企業被害では、個人の場合と同様に、水害の危険性が軽視され、氾濫の可能性のある低地に新たな立地が進んだことが大きな要因となったとされている。ルドン市では、1995年の洪水災害をふまえて新しく策定される自然災害防止計画(PPR)をもとに、新たな土地利用計画(POS)を制定するはずであったが、その制定が遅れていた。このため、安くて平らな土地を求めて氾濫危険域にも企業立地が進む結果になった。

表 2 ブルターニュ州および隣接県における被災自治体数と避難住民数

	2000年11月洪水	2000年12月洪水	2001年1月 上旬洪水	2001年1月 下旬洪水
ブルターニュ州各県における被災行政区数				
コート・ダルモール	64	54	121	55
フィニステール		99	19	
イレ・ヴィレヌ	25	11	43	5
ロワール・アトランティック			40	
モルビアン	24	58	149	2
ブルターニュ州各県における避難住民数				
コート・ダルモール				
フィニステール		330	200	
イレ・ヴィレヌ			605	
ロワール・アトランティック			42	18
モルビアン		17	216	

公共の被害では、道路関連の被害 7700 万フランスフランが目立っている。2001 年 1 月初めの洪水ではイレ・ヴィレヌ県のみで 61 カ所で道路が不通となった。それと対照的にヴィレヌ川流域内では鉄道に不通は生じなかった。鉄道網は、洪水が頻発していた 19 世紀に計画・建設されていたことが被害の少なさにつながったとされる。また、運河を含む水路網は老朽化が進んでいることもあり、1 億 5 千万フランスフランの被害が生じた。

4.4 災害発生の原因

(1) 最も重要な 2 つの原因

現地ヒアリング調査とフランス政府報告書によれば、2000-2001 年水害の要因としては、1) 記録的な長期にわたる累積降雨量と数日スケールでの豪雨、およびそれに次ぐ要因として、2) 洪水氾濫危険区域に住宅・企業が立地し都市化が進行したこと等により、洪水氾濫に対する脆弱性が増大したこと、の 2 点を最も重要なものとしてあげることができる。それらの具体的内容は、既前節までに議論を行ってきた通りである。

2) について補足すると、1954 年当時の洪水危険性があるとされた土地 240 ha のうち、100 ha に建物が建ったという。

その他にもいくつかの副次的要因が現地では議論されている。ここでは、その議論の一部を以下

に紹介する。

(2) 不十分な河道疎通能力

ルドン市周辺の河道疎通能力は、ウスト川合流前のヴィレヌ川本川で $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 、ウスト川で $400 \text{ m}^3/\text{s}$ という。フランス政府報告書では明確に記述していないが、前に述べた洪水の状況から判断すると、少なくともウスト川では計画流量を上回るピーク流量が流入したことは明らかであり、ヴィレヌ川本川についてもその可能性は高い。したがって、ルドン市周辺の低地域における洪水氾濫に限って言えば、超過洪水であったことが洪水氾濫の直接の原因であったと言える。ヴィレヌ川本川流域とウスト川流域の両方で同時に超過洪水が発生した場合の想定がなされていなかったことが一部で指摘されていた。

(3) 農地管理の変化

過去 30~40 年の間に、ブルターニュ地方の農業は大きく変革されたという。それ以前は粗放的な牧草地が主体であったが、それが畑地化され集約的な農業に変化した。ブルターニュ地方では特にとうもろこしが増えた。このため、一部の農地では水はけを良くするため地中排水パイプを設置したり、農地区画整理の中で区画境界にあった土手を撤去するなど、洪水流出過程に影響を与え得る変化が生じた。フランス政府報告書では、たしかに 10 年程度の再現期間に対応した規模の洪水では影響を与え得るが、今回のような大規模な洪

水でこれらの影響が無視できないレベルであったかどうかは知見やデータに限られる中で即断はできないとしている。

(4) 潮汐および河口堰操作の影響

低平地河川であることから、満潮の影響を受けたことも予想された。フランス政府報告書は、ブルターニュ西部のいくつかの川でのシミュレーションの結果、満潮の影響による水位上昇分は15 cm～数10 cm程度であり、「増水による水位上昇分に比べて重要な影響とは言えない」と記述している。また、既述のように、1995年の洪水以降にヴィレンヌ川河口部には潮止め・利水目的の堰が建設された。この堰は、今回の一連の増水の間も、必ずしも水門を全開にしていたわけではなく、潮汐に連動した水位調整の操作を継続していたと言う。増水した状況下では堰の操作の影響はハイドログラフから直接見えないが、その操作手法如何によって水位を下げるができるかどうか、研究が必要とフランス政府報告書は述べている。

(5) 不適切な河川管理状況

多様な主体が現場の河川管理に従事しており、流域一貫での連携した取り組みが不十分な事例がいくつか指摘されている。例えば、下流の整備状況と関係なく上流側の疎通能力を確保するための浚渫作業が行われたりしている実態である。都市部においては、河岸に客土して疎通能力を低下させるような事例もあるという。運河における公共の水門のみならず私有の水門も含めた老朽化や維持管理の不適切さの問題も指摘されている。

5. 洪水対策

フランスでは古くから個人による河岸の所有が認められ今日に至っている。このため、洪水に対する防御のための構造物的対処は原則的に河岸の所有者の責務とされ、公共による洪水防御施設の整備は限定的であり、洪水リスクが既知であった地域を襲う甚大な災害にたいしてのみ政府が責務を負ってきた。したがって、我が国では一般的な公共が洪水防御計画を策定し、そのための施設を整備するという対応は、首都などの特別重要な場所を除いてなされていない。

ヴィレンヌ川のルドン下流には狭窄部があって、これが洪水に対しては堰上げを起こす。図11で見えてきた、過去の大洪水の最高水位がほぼ同じ値に揃うのは狭窄部の効果によるものと考えられよう。フランスの建設省は、洪水の疎通能力を倍に上げるためのバイパス水路の掘削を計画したが、建設費用、捨て土の処理、環境破壊に合意が得られず計画を断念している。

フランスにおいて、洪水に限らず、自然災害を軽減するための最も重要な方策は、土地利用を規制するPPRとPOSである。これについての詳細は、財団報告書に述べてあるので、ここでは概略を説明するに留める。

1995年成立のダルニア法により、国は、州知事あるいは県知事の指示により、対象とする地域について、災害危険度に応じたゾーニング主とする自然災害防止計画(PPR)案の策定を義務づけられた。洪水の場合は、既往最大あるいは100年に一度の洪水が計画洪水となり、浸水深が被害の主要因となる場合は、浸水深の大きさに応じて、ゾーニングが行われる。ルドンの場合は、1995年洪水が100年に一度の洪水とされ、浸水深1m以上の地域が建築禁止に対応する最も危険な区域に区分けされた。市町村に対する公聴会のあと、この計画案が州あるいは県議会で承認されると、条例で法的根拠を持ちPPRが成立する。市町村はPPRに従った土地利用計画(POS)を作らなければならない。最も危険な区域では、建築許可が下りないので、新たな開発は行われなくなり、災害ポテンシャルが下がる。

災害軽減のもう一つの大きな柱は、災害保険であり、ほぼフランスの全国民がこの保険に加入している。災害が国により天災(10年に一回発生する災害より規模の大きな災害が目安)に認定されれば、被害額の7割程度が保険により補償される。また、PPRが成立している地域では、保険の免責額が低く押さえられるよう、2つの制度はリンクしているため、住民からPPR成立を望む声もあり、PPR策定を申請する市町村の数も増えてきている。

6. おわりに

2000年秋から2001年春にかけての約半年の間にヨーロッパの各地では繰り返し大雨が降り、数10年から100年に一度という規模の降雨や流出を各地で記録し、これに伴って大規模な水害が発生した。大雨は北大西洋に次々に発生し発達する温帯低気圧から伸びる、寒冷前線や閉塞前線の通過に伴うものであり、500 hPaの高層天気図を見ると、この大雨の期間広い低圧部が存在し、偏西風帯は南に蛇行し、これが雨域の移動方向を決めていた。ニューファンドランド沖の大西洋に約半年間存在した平年より2度以上高い暖気団が、この温帯低気圧発生発達のポテンシャルを作り、グリーンランド付近に南下する寒気が引金を引き、このヨーロッパの長く続く冬の大雨を作ったと考えられる。

フランスブルターニュ地方では、これらの雨は長雨と、時々強く降る雨として現れ、土壌水分含有量は増加していった。2000年12月と2001年1月上旬に少し強い雨が降りこれが高い効率で流出して、ヴィレンヌ川やウスト川の低平地に氾濫して大きな被害をもたらした。

被害は物的被害に限られ、被害額は約8億7千万フランスフランと見積もられており、その中の約41%が個人資産の被災から来るものであり、主要部分を占める。被害が大きくなった要因として、雨の大きさに加えて、都市化に伴う脆弱性の増加が挙げられる。洪水氾濫の危険の高い地域に住宅が建ち企業が進出して被害にあったケースが多いと、フランス政府報告書は指摘している。

フランスは、南部の一部を除いて地形勾配も緩く、雨量も我が国と比べて小さいので、洪水流出は緩やかであり、これが人的被害がないという水害の特徴に現れている。したがって、水害を軽減するには、物的被害を小さくすることが重要で、土地利用の規制や災害保険が大きな役割を果たす。これについての詳細は、「財団報告書」を参照されたい。

謝辞

本報告の作成にあたって、下に示す各URLの

記事およびデータを利用した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- Clifford Embleton (Ed.), 大矢雅彦・坂幸恭監訳：ヨーロッパの地形(上), 大明堂, 1984.
- Philippe H., P. Roussel, B. Bourget, J. Varret, J. Guellec, P. Monadier, P. Sauzey, et A. Teyssier: Mission d'Expertise sur les crues de Decembre 2000 et Janvier 2001 en Bretagne, p.127, 2001 (「フランス政府報告書」).
- Philippe M. et al.: Mission d'Expertise sur les crues de Decembre 2000 et Janvier 2001 en Bretagne, Annexe A, Inondations en Bretagne Automne Hiver 2000-2001, p.108, 2001 (「フランス政府報告書, 附録A」).
- 磯部英彦: 2000年秋のイギリスの大雨, 気象, vol.45, No. 7, pp.34-42, 2001.
- 気象庁: 気象庁天気図, 平成12年8月-12月, 平成13年1月-5月, CD-ROM版, 2000, 2001.
- 小倉義光: 一般気象学, 東京大学出版, p.314, 1988.
- 財団法人河川環境管理財団: フランスにおける水害調査等報告書—2000~2001年洪水—, p.96, 2002.
- 坂口豊, 高橋裕, 大森博雄: 日本の川, 岩波書店, 1986.
- 参考URL
<http://catnatlive.free.fr/> フランスの自然災害のホームページ
http://sgi51.wwb.noaa.gov:8080/cgi-bin/pdisp_cams_temp.sh NOAA 気象予報センターの異常気象に関するデータベース
<http://www.dartmouth.edu/artsci/geog/floods/index.html> ダートマス大学洪水観測プロジェクト
<http://www.rnde.tm.fr/francais/rnde.htm> フランス環境省水局水データネットワーク

(投稿受理:平成14年8月25日
訂正稿受理:平成14年11月1日)