

「中間とりまとめ」以降に判明した主な事実情報について

(2) 当日の状況について

大川小学校付近における津波の挙動について p. 1

釜谷地区住民・在勤者等の被災状況 p. 12

大川小学校付近における津波の挙動について

1) はじめに

大川小学校付近へ来襲した津波は、長面側から北上川の堤防の外側の主として陸上を遡上した津波と、北上川の河道を遡上して新北上大橋付近から越流した津波の、大きく 2 つに分けられる。一般に陸上を遡上する津波は、河道を遡上する津波に比較して遡上速度が遅いことから、これら 2 つの津波が大川小学校付近に到達した時刻についても、北上川からの越流が先で陸上を遡上した津波が後であると考えられる。

陸上を遡上する津波の遡上速度は、陸地の高低差、地形、家屋等の津波にとって障害物になる人工構造物の数によって異なることから、正確な遡上速度を計算することはきわめて困難である。一方で、河道を遡上する津波はこれまでに多くの研究による知見の蓄積があることや、水位計による津波到達時刻の推定が可能であることなどから、遡上の状況がかなり正確に把握できる。陸上を遡上した津波については、かねてより外部の専門機関に依頼しているシミュレーション結果を待つことにして、本報告では河道を遡上した津波について、現段階で入手したデータ・情報等に基づいて、その挙動を検証したい。

なお、本報告については、首藤委員および外部水工学の専門家の助言に基づき、大橋調査委員が中心となってデータ分析を行った上で、最終的に専門家の確認を得たものである。

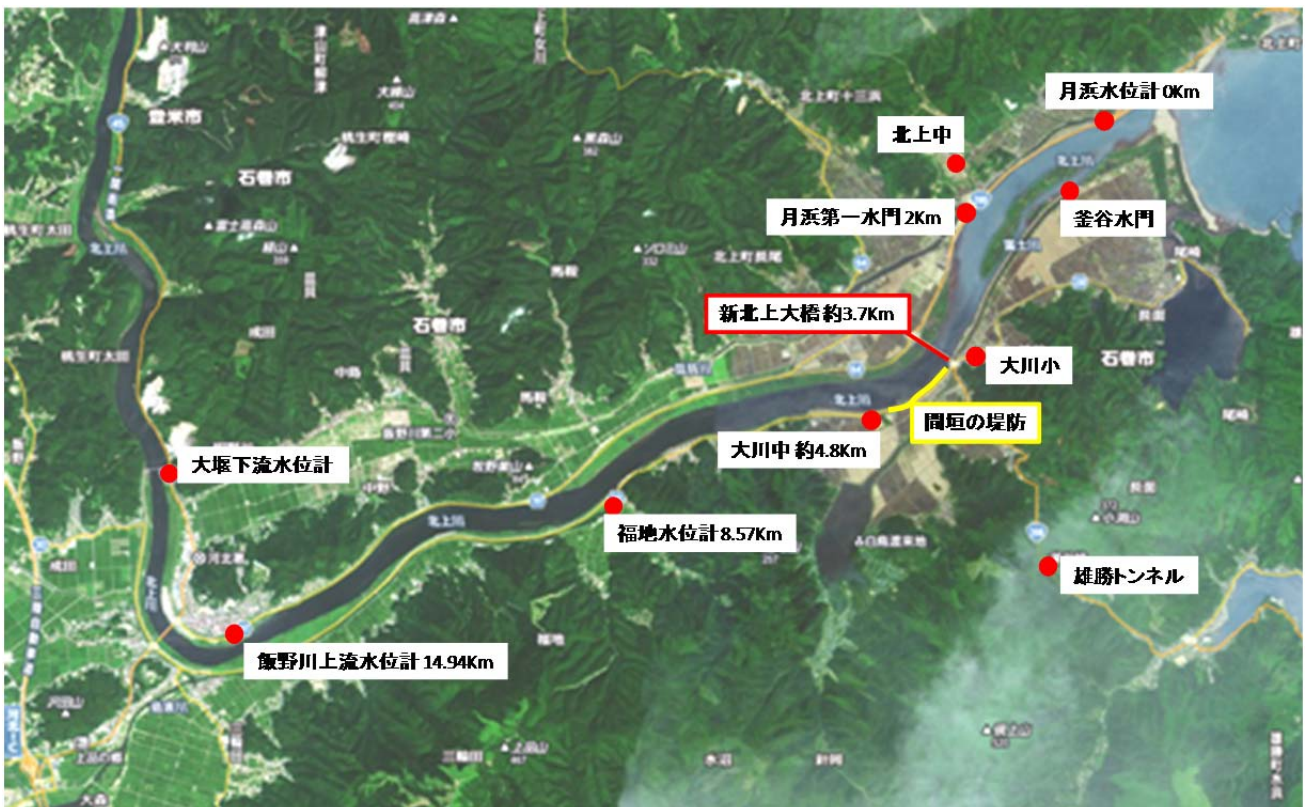


図 1：本報告に関連する水位計等の設置場所等の情報

2) 水位計データに基づく河道内津波遡上の推定

北上川河口域には、下流から 1)月浜水位計（河口から 0.00Km¹）、2)福地水位計（8.57Km）、3)飯野川上流水位計（14.94Km）、4)大堰下流水位計（17.20Km）、5)大堰上流水位計（同）の 5 つの水位計が設置されている（図 1 参照）。このうち、月浜水位計は地震発生直後の 14:50 からしばらくの間、600cm を越える異常に高い水位を記録しているが、これは実際の水位の変化ではなく、地震の揺れによる計器の不具合であると考えられる。また大堰上流水位計は堰が津波を堰き止められたため、初期の水位に変化がない。したがって、以降の分析には残る 3 つの水位計（福地、飯野川上流、大堰下流）のデータを用いることとする。

福地は右岸のみ、飯野川上流は左岸のみに水位計が設置されているため、これらのデータを用い、大堰下流は右岸と左岸に 1 つずつ水位計が設置されていてほぼ同じ値を示しているため、左岸のデータを用いることとする。

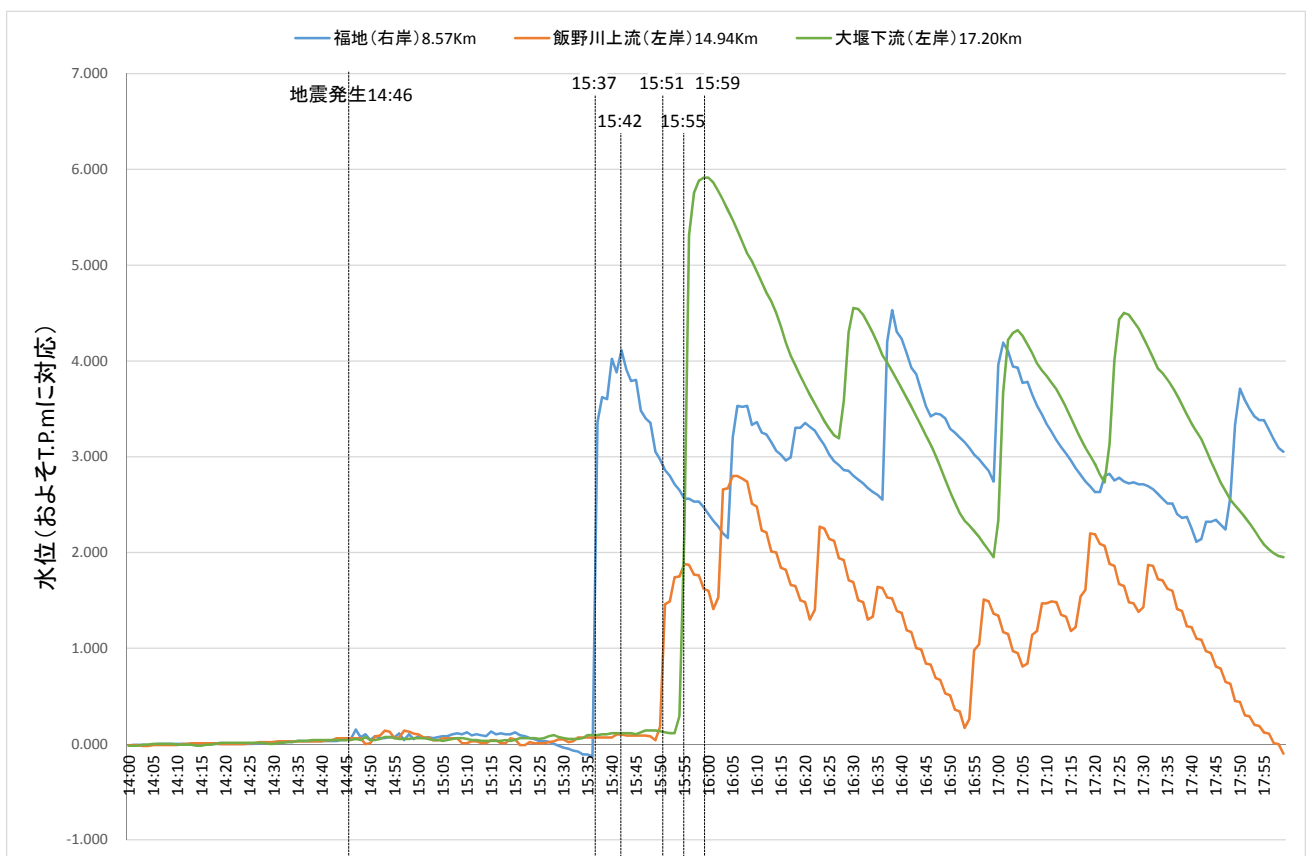


図 1：北上川河口域に設置された 3 つの水位計のデータ（14:00～17:59 の 1 分間隔測定値）²

※水位は 14:00～14:30 の平均水位を 0 として補正。およそ T.P.m に対応する。

1 北上川の河口は、河川法に基づいて震災前の月浜第二水門（第一水門より下流にある）の位置に定められており、月浜水位計は同水門に設置されていた。

2 第 2 波の観測が福地よりも飯野川上流で早く観測されている理由は、河川の形状や地形等の影響によるものと考えられる（飯野川上流でのピークが 15:55、大堰で 15:59 であるから約 4 分で遡上している。それが堰に反射して下流に向かうと同じ 4 分後の 16:03 くらいに飯野川上流に到達する。これが下流からの第 2 波の立ち上がりなどと重なって福地でのピークより早い時刻にピークが出たものであろう）。

(1) 水位計データの時刻について

図 1 に示したデータから水位の変化について分析すると、福地水位計においては、14:46 まで満潮に伴う緩やかな上昇を示していた数値が、14:47 に突然 10cm 下がり、その後、上下動を繰り返す特徴が読み取れる。これは、たとえば地震による水面の変動など、地震後の何らかの変化を示しているものと推定される。このような特徴は、他の水位計にもほぼ同様に見られる現象であることから、これらの水位計の時刻はほぼ正確であったと考えられる。

(2) 3つの水位計の記録した津波の立ち上がりおよび最高水位（ピーク）時刻

福地水位計では、15:20 過ぎから水位が下がり始め、この水位低下は 15:36 まで続いて（最大約-1.29m.）、15:37 には一気に 3.5m 近く上昇する（約 3.36m.）。この時刻が福地水位計付近における津波第 1 波の到達と推定できる。その後、激しく上下動を繰り返しながら 15:42 に約 4.11m を記録し、その後下がっていくことから、第 1 波の最高水位（ピーク）は 15:42 であったと認められる。

飯野川下流水位計では、福地のような大きな水位の低下は見られず、15:51 に 1.46m.の上昇を記録し、15:55 に 1.88m.の第 1 波のピークを記録している。大堰水位計（下流左岸）も、飯野川上流水位計と同様に水位の低下を示さずに、15:55 に 2.14m.の上昇を記録し、15:59 に 5.83m.の第 1 波のピークを記録している。

(3) 水位計のデータに基づく新北上大橋への到達時刻の推定

これら 3 つの水位計の立ち上がり到達時刻とピーク到達時刻をプロットしたものが図 2 である。河川を津波が遡上する際の速度は、河口からの距離、川幅、川の深さ、川の形などによって影響を受けるため、直近の 2 つの水位計（福地と飯野川上流）のデータに基づいて、新北上大橋（河口からおよそ 3.7Km）に津波が到達した時刻を直線回帰式によって推定した³。

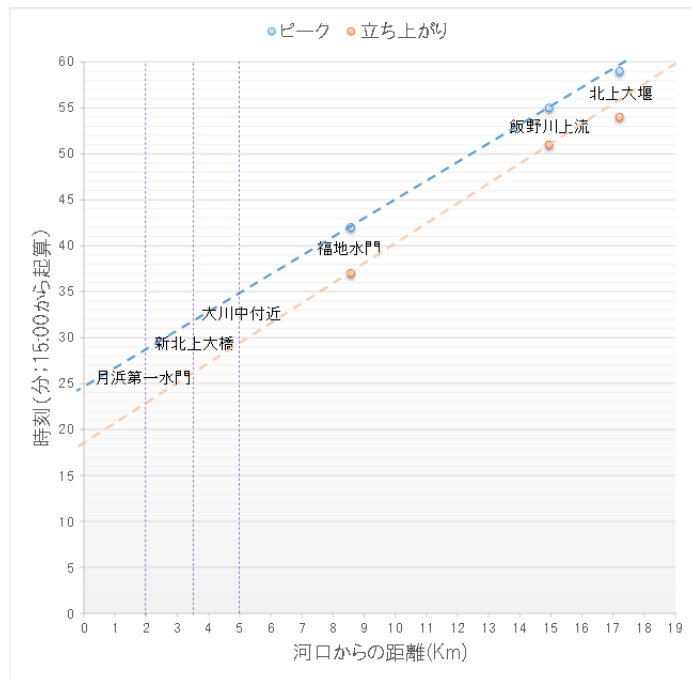


図 2 : 3 つの水位計の記録に基づく立ち上がり到達時刻及びピーク到達時刻と線形回帰

³ 立ち上がり到達時刻の直線回帰式は $y = 2.1985x + 18.155$ 、ピーク到達時刻の直線回帰式は $y = 2.0415x + 24.501$ 。

この結果、北上川の遡上による津波第1波の新北上大橋到達は、立ち上がり時刻からの推定では15:26頃、ピーク時刻からの推定では15:32頃であったと考えられる⁴。図1から第2波は16時以降と認められるため、北上川の堤防を越流して大川小学校付近に来襲した津波はこの第1波以外には考えられない。以上より、水位計データから推測される大川小学校付近に来襲した津波のピークは、遅くとも15:32頃には新北上大橋に到達していたと考えられる。

3) 北上川河川監視カメラの映像に基づく河道内津波遡上の推定

水位計の設置場所とほぼ同じ場所には河川監視カメラが設置されている。今回の規模の津波で、河口に近いこれらのエリアでは、映像からの視察によって津波の来襲が判断できるため、これらの映像データも一部入手して分析した。津波来襲前後の映像は福地水門、飯野川上流の2カ所しか入手できていないため、他の映像データについても入手を依頼している。

まず、福地水門では15:52に(図3左)、飯野川上流では16:04に(図3右)、それぞれ津波の来襲が確認できるが、上で述べた水位計のデータとは時刻がまったく一致しない。河川監視カメラの時刻合わせの運用について照会中であるが、これらのカメラの時刻表示は水位計の時刻記録に比べて信頼性が低いと考えられる(河川監視カメラはもともと洪水等のリアルタイム監視用に設けられたものであり、必ずしも時刻を正確に合わせる必要はない)。地震発生前から16:30頃までの映像の提供を受けることができれば、地震の揺れなどの記録から時刻の補正を試みた上で、改めて解析を実施したい。



図3：福地水門、飯野川上流の河川監視カメラの映像から

4) 大川小学校で発見された時計について

大川小学校には表1のように21個の時計が設置されていたようである(フック等の痕跡からの推定)。これらのうち、調査時点⁵で確認できた時計は2個で、一つは特別支援室の壁にかかった状態の時計、もう一つは3-1教室で棚の上に置かれていた時計である。前者の停止時刻は15:38:53、後者の停止時刻は15:36:40と読み取れる(図4)。従来、時計の停止時刻は15:37とされていたが、この時刻で停止していた時計は確認できなかった。

いずれも乾電池駆動の一般的な時計で、津波による浸水が時計の高さまで到達したことによる短絡に

⁴ 中間とりまとめにおいては「先端部分が15:25頃に、ピークが15:32頃に大川小学校付近に到達した」と記述した。本報告と立ち上がり時刻(=先端部分)で1分のずれがあるが、これは本報告では秒単位の結果を切り捨てたためである。

⁵ 調査は8月6日午前に行われた。

よって停止したと考えられる。ただし、これらの時計はいずれも、もともと現在の場所にはなかったという証言もあるため、津波被災時の設置場所について慎重な調査が必要であるため、現段階では一覧を確認するに留めたい。

表 1：大川小学校で発見された時計および時計痕跡一覧

No	設置場所	階	設置高さ ⁶		動力源	時刻形式	停止時刻	現況
			床面から	T.P.m				
1	1-1教室	1	2.5	3.95				流出
2	2-1教室	1	2.5	3.95				流出
3	職員室(注1)	1	2.6	4.05				流出
4	校長室	1	2.6	4.05				流出
5	特別支援教室	1	2.5	3.95	乾電池	クォーツ式	15:38:53	壁に掛かっている(注 2)
6	視聴覚室	1	2.6	4.05				流出
7	音楽室	1	2.5	3.95				流出
8	放送室	1	2.4	3.85				流出
9	家庭科室	1	2.7	4.15				流出
10	理科室	1	2.7	4.15				流出
11	児童会室	1	2.5	3.95				流出
12	図工室	2	2.6	7.4				流出
13	6-1教室	2	2.5	7.3				流出
14	6-1教室	2	2.5	7.3				流出
15	5-1教室	2	2.5	7.3				流出
16	5-1教室	2	2.5	7.3				流出
17	図書室	2	2.6	7.4				流出
18	4-1教室	2	2.5	7.3				流出
19	4-1教室	2	2.5	7.3				流出
20	3-1教室	2	2.5	7.3	乾電池	クォーツ式	15:36:40	机の上(注2)
21	3-1教室	2	2.5	7.3				フック・跡のみ

注1:チャイム管理用の時計があったと思われるが痕跡すら発見できず



図 4：大川小学校で発見された時計（左：特別支援室壁面 8/6 撮影、右：3-1 教室棚の上 8/12 撮影）

⁶ 設計図面によると教室 1 階床面は設計時 GL より 450mm の高さ、2 階は 1 階床面から 3800mm の高さにある。設計時 GL が不明であるため、設計事務所の助言により校庭の高さ約 T.P.1 m を設計時 GL とみなして計算した。ただし、石巻市で 70cm ほどの地盤沈下が確認されていることから、(国土地理院：<http://www.gsi.go.jp/common/000060295.pdf>)、大川小学校においてもある程度の地盤沈下があったものと推測され、津波来襲時の高さは表に示した標高よりも低かったと考えられる。

5) 大川中学校に設置されていた時計

(1) 体育館内壁に設置されていたと思われる時計について

大川中学校（新北上大橋から 1Km ほど上流、河口から約 4.8Km）の体育館内壁に設置されていたと思われる7時計は 15:32 で停止している（設置高さは 8m 以上と推定される；図 5 左）。しかし、体育館の津波痕跡は最大でも 2m 程度であり、またこの時計に浸水の形跡がないため、津波による直接の浸水で停止したものではないといえる。

(2) 時計およびチャイム管理システムについて

大川中学校の時計およびチャイムを管理するシステムの時計は 15:33 で停止している（図 5 右）。この時計管理システムは「プログラムタイマー」と呼ばれる松下電工(株)製（現在のパナソニック(株)）のシステムと思われ、停電でも数十時間は作動できる蓄電池⁸を備え、一定数までの子時計への電源供給および時刻合わせ管理も可能であった。また、システムによっては NHK-FM の時報に基づいて時刻を補正するオプションも備えているが、大川中学校におけるシステムの詳細については、照会中である。一方、東北電力(株)によるとこの地域の停電時刻は 14:46～14:47 頃とのことであるため、これらの時計がこの時刻まで稼働していたのはプログラムタイマーに設備された蓄電池によるものと考えられる。

(3) これらの時計が停止した理由

これらの時計が停止した理由であるが、図 5 右写真には津波痕跡が写っていることから考えて、津波の浸水による短絡によって停止したものと推定される。パナソニック(株)製の同種のシステムでは、一部の短絡によって全ての時計への電源供給を停止する働きがあるため、他の時計も時計管理システムのいずれかの場所（システム本体に限らず、配線の途中も含む）への浸水による短絡によって、同時に停止したものと考えられる。

2つの時計の停止時刻に1分程度のずれが存在する理由は、子時計の時刻合わせ機能が大川中学校のシステムには装備されていなかったか、あるいは、子時計の時計合わせ機能を利用していなかったかの、いずれかであると考えられる。今後、情報提供や聴き取りを通じて、時計管理システムの運用面（特に、自動時刻補正機能と、子時計の時刻合わせ機能）に関する詳細を調査することで、時計の停止した原因を明らかにしたい。



図 5：大川中学校に残っていた 2 つの時計

（左：体育館内壁？に設置されていた時計、右：職員室内に設置されていたチャイム管理用時計）

⁷ 複数の写真からこの時計とみられる時計が体育館内壁に掛かっていることが確認できる。しかし、校舎外壁の時計であるとの報告もあるため、同一の時計かどうかはさらに調査が必要である。

⁸ 蓄電池による動作可能時間は型番によって異なると考えられ、現在、正確な型番の調査を依頼中である。

6) 大川中学校において撮影された津波来襲の様子

(1)大川中学校への津波来襲について

大川中学校においては、津波来襲当時、校内にいた教職員が数枚の写真を撮影しており、これらの提供を受けて分析した。写真ファイルに含まれる EXIF データの解析から、最も撮影時刻が早い写真は 15:35 に撮影されたことがわかった (図 6)。同じく EXIF データによって特定された携帯電話の機種から、この電話機には自動時刻時差補正機能があり、この機能を利用する設定となっていれば、写真データに付与される撮影時刻はきわめて正確なものとなることがわかった。当該機種では、初期設定でこの機能を利用する設定となっており、所有者が意図的に解除しない限り、この機能は利用されていたものと考えられることから、写真データの時刻は正確であった可能性が高い。



図 6 : 大川中学校で最初に撮影された津波来襲の写真 (15:35 撮影)

(左上赤点線の囲みは図 8 写真の撮影範囲と思われる箇所)

この写真から、大川中学校の校庭には 15:35 に津波が来襲したことがわかる。図 2 で述べた直線回帰式から推算される大川中学校付近 (河口から約 4.8Km) への立ち上がり到達時刻は 15:28 頃、ピーク到達時刻が 15:34 頃であるため、この時刻の撮影時刻と整合する。

また、図 6 の写真は校舎から南側 (図 7 参照 ; 北側に北上川) を撮った写真であるが、校庭への浸水が左下から右上に広がっていることがわかる。これは、北上川の堤防を越流した津波が校舎と体育館の間を通過して校庭側に広がったものと考えられる (図 7 中の左側青い矢印のように)。



図 7 : 大川中学校の衛星写真 (Google マップより転載)

(2)大川中学校南側の津波来襲について

図 6 の写真では、校庭の外（南側；写真上側）には左ら右への浸水が確認できる。まだ右上は浸水していないことから越流した津波の先端部を写した写真であると考えられる。位置関係から考えて、この越流した津波の先端部は、大川中学校から見て下流側にある山の裏側、すなわち、いわゆる「間垣の堤防」を越えて津波が浸水している様子であると考えられ（図 7 中の右側赤い矢印）、ここから間垣の堤防のおおよその越流開始時刻が推定できる。

堤防から浸水の先端までの距離を測ると最短の直線距離で約 600m、浸水速度をおよそ 15km 毎時（250m 毎分）と仮定すると⁹、この写真が撮影される 2～3 分ほど前の 15:32～15:33 頃に越流した津波であると考えられる。この時刻は中間とりまとめに記載した時刻とほぼ一致するし、新北上大橋へのピーク到達時刻が 15:32 頃であるからこの時刻とも整合する。この写真に写っている津波より早い段階で別の場所に小規模な越流が生じている可能性は否定できないものの、大規模な越流は 15:32～15:33 頃に始まったと考えられる¹⁰。

なお、15:36 に撮影された写真（図 8）では、すでに家が流される様子が写っており、わずか 1 分の間に様相が一変したことがわかる。この写真は、図 6 の左上赤破線部分を拡大して撮影したものと考えられるが、図 6 には写っていなかった複数の流出家屋が確認でき、これらは津波によって流出したものである。この時点での浸水深は 2m 程度と考えられるが、それでも家屋を流出させる力があることを示す。現在、この家屋の特定を進めており、津波来襲前の立地位置が判明すれば越流の詳細な実態を示せるだろう。



図 8：図 6 の左上赤破線囲み箇所をズームして撮影された写真(15:36 撮影)

7) 北上中学校付近で撮影された画像について

北上中学校付近では、二人の撮影者が撮影を行っている。一人は北上町在住の S 氏の撮影で、石巻地区広域行政事務組合消防本部が作成した『東日本大震災 3.11 石巻広域の消防活動記録』の p.17 に収録さ

⁹ 河道内の遡上速度が約 30Km/h 程度であることから、他の陸上遡上速度の推定から約半分程度の浸水速度と想定した。これは標高差や家屋などの障害物の有無等によって変わるため、あくまで計算の目安としたものである。

¹⁰ 中間とりまとめにおいて「この堤防の破堤時刻はおおむね 15 時 31～33 分頃となる」と記述したが、このうち下線部を「越流開始時刻」と訂正する。

れている。この写真は北上中学校付近から月浜第一水門の方向を撮影したもので、15:30 から 2 分間の時刻が付されている（図 9）。

一方、ほぼ同じ場所から撮影されたと思われる動画がインターネット上で公開されている¹¹。この動画は東根市在住の T 氏の撮影とされ、再生時間 1:27 頃から月浜第一水門の方向から来襲する津波が記録されている。画面上には映像開始時点から「午後 3 時 30 分ごろ」とテロップが表示されているが、2:36 ほどある映像のどの時点の時刻を指すのかは不明である。これらの時刻の正確さを確認するために、さらなる調査をすでに進めている。



図 9：北上町在住の S 氏が撮影したとされる画像。

（『東日本大震災 3.11 石巻広域の消防活動記録』より）

なお、この地点への津波の到達を図 2 に示した回帰直線から導くと、立ち上がり到達時刻で 15:22 頃、ピーク到達時刻で 15:28 頃となり、ピーク到達時刻が S 氏の撮影時刻とされる時刻にほぼ一致する。撮影時刻が正しければ、福地、飯野川上流量水位計から下流域での津波の到達に関する推算の妥当性が示されたものと考えられる。

8) 目撃者によって撮影された映像について

新北上大橋付近で津波から避難した目撃者が三角地帯脇の法面上から撮影した映像すべての提供を受けたが、撮影者はカメラの設定時刻が数分遅れていたと証言している。複数のファイルのうち撮影開始時刻 16:01 の映像に津波が遡上する様子が写っている（図 10）。

この津波は福地水位計に 16:08 にピークが記録された第 2 波の津波と考えられ、第 1 波と遡上速度が変わらないと仮定すれば、新北上大橋への到達はおよそ 10 分前の 15:58 頃と推算される。よって、このカメラの設定時刻は 3 分ほど遅れていたと考えられる。

¹¹ <http://www.youtube.com/watch?v=S7Yp6LGanWk>



図 10：撮影開始時刻 16:01 とされる映像の一部。津波の遡上が確認できる。

一方、ファイル番号から最初の撮影と考えられる映像（目撃者動画 1）の撮影開始時刻は 3/15 の 22:15 となっている。撮影者によると、ファイルをコピーした際に日時が変わってしまったとのことだった。2 つめの映像（目撃者動画 2）の撮影開始時刻は 15:49 で、上の推定から実際の撮影開始時刻は 15:46 頃と考えられる。目撃者動画 1 の撮影時間が 1 分 57 秒であることをあわせて考えると、最初の撮影開始時刻は 15:44 以前であるとみなすことができる。

9) 新北上大橋下流直近での堤防河川側堤体の崩落

前回の委員会で「新北上大橋より下流の部分で、新町裏のあたりだと思われる箇所に破堤を確認している」と述べたが、これは破堤とまでは呼べない現象のようである（図 11）。川面の土堤部が大きく侵食され、川裏の被覆ブロックを残すのみとなっている。この堤防損壊が生じた原因と、大川小学校付近への越流については、かなり関係が深いと考えられるが、さらに検討が必要である。



図 11：新北上大橋下流部堤防の損壊（右：川面から、左：川裏から、下：川面パノラマ撮影）

左上写真の赤点線で囲んだ部分が堤防損壊箇所、右上写真の赤点線はその裏側を示したもの。

10) 新北上大橋上流の破堤について

いわゆる「間垣の堤防」に該当するのが新北上大橋上流部の破堤箇所である。国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会が平成23年(2011年)12月にまとめた『北上川等堤防復旧技術検討会報告書』によると、延長1,100mが緊急復旧工事の対象となっている(本編p.23)。また、参考資料⑦「津波による河川堤防の被災パターン」によると、この破堤は「土堤を津波が越流したことにより破堤に至ったもの」と結論づけられている(図12)。¹²

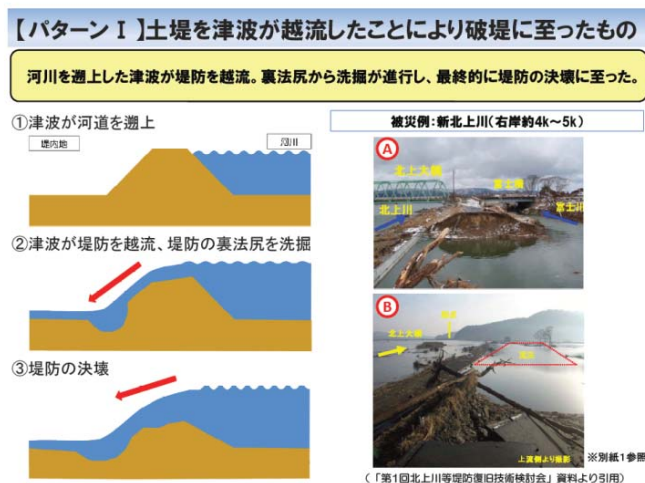


図12：間垣の堤防が破堤に至ったメカニズム(北上川等堤防復旧技術検討会報告書参考資料より転載)

11) 本報告のまとめと当日の避難行動に関する今後の検証の進め方

以上より、津波の挙動として現段階で判明していることをまとめる。津波は月浜第一水門に15:22頃に到達、15:28頃にピークを迎える。新北上大橋には15:26頃に到達、15:32頃にピークを迎える。さらに、大川中学校付近に15:29頃に到達、15:34頃にピークを迎える。ここまでは福地と飯野川上流の水位計のデータからの推算である。

間垣の堤防では15:32~15:33頃に大規模な越流が開始され、大川中学校付近でも15:33~15:34頃に越流が始まったと考えられる。これらは、水位計の分析に加え、大川中学校で撮影された写真の解析を含めた推定である。以上の立ち上がり・ピークの到達時刻、越流開始の時刻は、ほぼ正確と考えられる。

これらのデータに加えて、証言を精査していく。現在、市教委による聴取、新聞・雑誌・書籍等に掲載された証言、テレビで放映された証言、さらに、本委員会によるこれまでの聞き取りを1000程度の発話文に分けて分析中である。さらに、ラジオ放送に加え、ワンセグでの情報獲得の可能性に考慮してテレビ局への情報提供依頼を行っているが、これらの放送タイミングと証言との整合性等を検討する。

これらの情報に基づいて、今後、核心的な聴取対象者に対する聞き取りを行って、大川小学校付近における津波の挙動と、当日の避難行動の全容を解明したい。

¹² (再掲) 中間とりまとめにおいて「この堤防の破堤時刻はおおむね15時31~33分頃となる」と記述したが、このうち下線部を「越流開始時刻」と訂正する。

釜谷地区住民・在勤者等の被災状況

行政区としての釜谷地区（入釜谷の一部、谷地中を含む）で津波により犠牲となった住民等の人数は、197名とされている。ただし、この中には、震災当日は地区外にて入院・入所生活を送っていた住民、地区内の診療所勤務者、地区内の住民宅を訪問していた当該住民の親戚なども含まれている。一方、地区内の賃貸住宅に居住していた住民（一部）や、地区内に勤務していた在勤者は含まれていない。

このため、大川小学校近隣における津波による人的被害の全体像を整理するため、ご遺族、地域住民などからの聴き取り及び情報収集を行った。この結果をもとに、地震発生から大川小学校付近へ津波が来襲するまでの間、地区内にいた（もしくは地区へ来訪していた）住民等の被災状況を整理した（下表）。

なお、この整理にあたっては、以下のような考え方で集計対象を選択した。

- 釜谷地区のうち、地形的にやや離れた入釜谷については、間垣の堤防を越流し破堤に至らしめた津波で被災したと考えられることから、集計には含まない。
- 小学校以外の被害を整理するため、小学校の児童・教職員と、来訪者のうち小学校へ児童の引き取りに来た保護者等は、集計には含まない。

また、地区内の在勤者や来訪者については、聴き取り等から得られた範囲のみに限定されることから、必ずしもすべてを網羅できているとは限らない。この点も含め、表中の数値には、一定の不確実性が残されていることに留意する必要がある。

釜谷地区（入釜谷を除く）における住民・在勤者等の被災状況
（聴き取り等によって得られた情報に基づく）

単位：人

	住 民	在勤者	来訪者	計
死 者	175	2	3	180
生存者	34	7	11	52
計	209	9	14	232
（死亡率）	（83.7%）	（22.2%）	（21.4%）	（77.6%）