

2013年1月に発生したジャカルタ洪水時の降雨特性と企業の洪水対策*

東北大大学災害科学国際研究所

福谷 陽 呉 修一, ジェレミー・ブリッカー, ア卜ドル・ムハリ

1. 序論

2013年1月15日から18日に掛けて、インドネシアの首都ジャカルタ市周辺で熱帯モンスーンに伴う集中豪雨が発生し、ジャカルタ市的主要河川であるチリウン川流域において内水氾濫や外水氾濫を生じさせた。この洪水により、40名以上の死者、 140km^2 の地域の冠水、45,000名以上の避難者が生じた。ジャカルタでは、大規模な洪水が1996年、2002年、2007年などにも生じており、今後も流域の都市化や集中豪雨の発生により甚大な被害を及ぼす洪水が発生するものと懸念されている。今回の洪水が発生した要因として、流域の市街化、北部沿岸域周辺での地盤沈下、排水施設（排水ポンプ）の機能不全、河道内の土砂およびゴミの堆積等が挙げられているが、本報告では、1月15日から17日に掛けての降雨の時空間分布の変動に着目する。また加えて、2月に実施した現地調査の際に訪問した日系民間企業の洪水対策についても概説する。

2. 降雨の時空間分布の変動

チリウン川流域において、過去に大規模な洪水が発生した際の2日間最大雨量を雨量計のデータで確認すると、2007年洪水の降雨量が多くなっている一方、2013年洪水時の雨量は2007年に比して少ない（図1）。しかしながら、2013年洪水では、ジャカルタ市内西放水路で破堤が生じ、また、チリウン川と旧チリウン川の分流地点であるマンガライ水門における水位も2013年は、2002年、2007年に匹敵するような高い水位を記録している。この一つの要因として、洪水をもたらした降雨の時空間分布の変動が影響していると考えられる。

降雨の詳細な時空間分布の変動を確認する前に、まずは総観的な気象場を確認する必要がある。図2に1月9日～16日の世界の週間降水量の分布を示した。この期間、ジャカルタ市を含む東南アジアの多くの地域は、

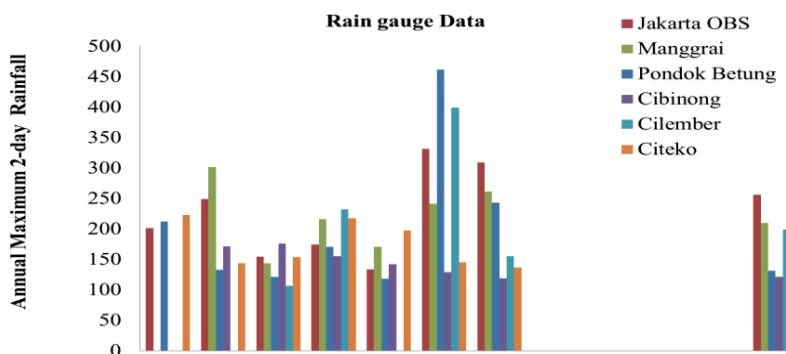


図1 2002年から2008年および2013年の2日間降雨量（年最大）（縦軸の単位はmm）

*Rain fall characteristics of 2013 Jakarta flood and flood countermeasures by private company by Yo Fukutani, Shuichi Kure, J. D. Bricker and Abdul Muhari.

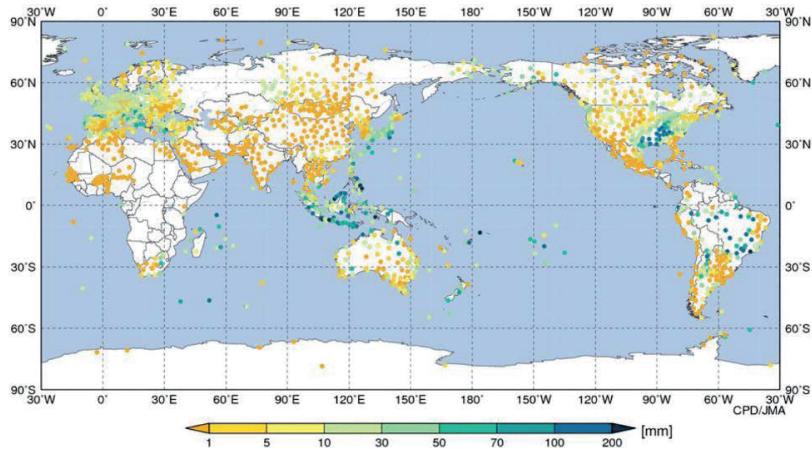


図2 1月9日～16日の世界の週間降水量（気象庁ホームページより）

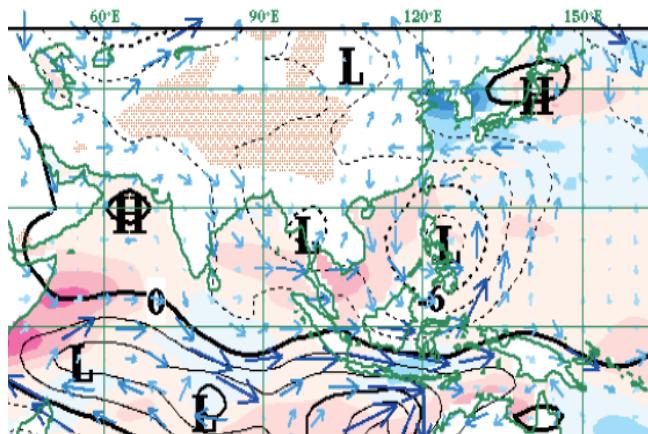


図3 1月9日～15日平均の850hPa（約1500m）の高度場（実線および点線）、風速ベクトル場（矢印）。図中のLは低圧部、Hは高圧部を示す。（東北大学大学院理学研究科流体地球物理学講座・岩崎俊樹教授提供）

周辺地域と比較しても、降水量の多い状態であることが分かる。Peiming (2013)は、今回の洪水の原因となつた豪雨の発生要因としては、当該期間における赤道越えの冬季アジアモンスーン（季節風）がジャワ島付近にまで到達しており、インド洋から発達しつつ東進してきたマッデン・ジュリアン振動 (MJO 振動) がぶつかり、そこにジャワ島北西岸の海陸風循環の3つの要因が重なって活発な対流が発生したことが考えられる、と結論付けている。図3に、1月9日～15日平均の850hPa（約1500m）の高度場、風速ベクトル場を示した。太平洋西部には低圧部があって、それに伴う低気圧性循環の影響で、極東からの北風アジアモンスーンが赤道を越えて、南シナ海からジャワ島の北部近辺にまで到達していることが分かる。このアジアモンスーンと熱帯赤道域上空で対流活動が活発な領域（大気循環場）が約1～2ヶ月かけて東に進んでいく現象である、MJO振動に伴う西風が、丁度ジャワ島付近で合流し、対流活動を活発化させていたと考えられる。さらに、この期間、南半球インド洋の下層に発生していた低圧部 (Cyclone-4 NARELLE, Tropical Storm EMANG) の影響で、インド洋

からの西風が強化されており、それが更なる対流活動の活発化に寄与していたことが推測される。また、下層における南シナ海からのアジアモンスーンやインド洋からの西風は海洋からの湿気を多量に含んでおり、ジャワ島付近においては、大気の不安定な状態が継続していたことも容易に推測される。

上述した環境場のなかで1月上旬から中旬のジャワ島周辺は、積乱雲が頻繁に発生し、豪雨が降りやすい状況となっていた。以下、2009年に(独)海洋研究開発機構(JAMSTEC)が技術支援を行ってジャカルタ市に導入したCバンドレーダの観測データを基に、洪水時の降雨特性を議論する。まず、1月15日、1月16日、1月17日の1時間レーダ降水強度(mm/hour)の日積算データを図4に示した。1月15日は主として、ジャカルタ市南部や南東部の上空(チリウン川中・上流域)を強雨域が通過したことが分かる。一部の地域では、50mmから100mmの積算降水強度となっている。そして、1月16日については、ジャカルタ市周辺上空では顕著な積乱雲は発生しておらず、それに伴う豪雨も発生していないことが確認できる。ただし、ジャカルタ市のはるか南方のチリウン川上流域では局所的に強い降雨領域が見られる。1月17日については、ジャカルタ市の上空(チリウン川下流域)で、0時から9時までの積算降水強度で、強いところで20mmから30mm程度の降雨が観測されている。なお、図4の各図の下端中央部辺りには、日時によらず常に一定の場所で比較的強いレーダ降水強度が観測されているが、これは、山などの障害物があると、そのエコーが観測されてしまう、いわゆる地形エコーの可能性がある。

次に、詳細な降雨の時空間分布の変動を捉えるため、レーダから6分毎に取得された降水強度データを連続的に見ると、多くの降雨域は環境場の風に流されて、概ね北西方向から南東方向に移動する様子が確認出来た。1月15日、1月17日に顕著な降雨がジャカルタ市内を襲来した時間帯におけるレーダ降水強度を、それぞれ図5、図6に示した。図5は、1月15日1:23から3:53までの30分間隔のデータであるが、ジャカルタ市北西のジャワ海上で積乱雲が発生した後、環境場の風に流されて南東方向に進み、2:30頃に組織化した後、発達・衰弱を繰り返しながら、4:00頃に掛けて、ジャカルタ市の南方上空(チリウン川の中流域)に到達して、チリウン川に降雨を流入させたことが理解できる。また、図6からは、1月17日6:29から8:29までの1時間毎のデータであるが、ジャカルタ市上空周辺で積乱雲が発生した後、発達しながら南東進し、ジャカルタ市や旧チリウン川およびチリウン川下流域に降雨をもたらしたことが理解できる。

このような降雨の時空間分布の変動によって、2013年の洪水が、例年の洪水に比して個々の雨量計では小さい雨量であっても、下流における水位上昇が生じ、洪水被害を助長させた可能性が考えられる。また、この2例だけを見ても、豪雨をもたらす積乱雲の発生・発達・移動に伴う降雨の時空間分布の変動は大きく、これらがチリウン川の流量や水位に及ぼす影響は大きいと考えられる。

3. 企業の洪水対策

上述した降雨分布に伴いジャカルタ市内では洪水被害が発生したが、幾つかの企業では、これまでの度重なる洪水の教訓から洪水対策に予算を投じてきた結果、2013年の洪水では被害を免れることができた。そこで、2月に実施した現地調査時に訪問したジャカルタ市プロガドゥン地区に所在する日系自動車生産工場の洪水対策の概要について記載する。

ハード的な対策としては、工場敷地周囲の鉄筋コンクリート壁の造成、敷地内の溜池の新設、排水ポンプの追設、非常用発電機の設置、土嚢の準備、敷地全体の嵩上げ、排水溝の新設などがある(写真1参照)。工場敷地周囲のコンクリート壁は内部に鉄筋を組み込んで流速の速い洪水流にも耐える構造としていた。また、敷地内に溜池を新設して、敷地内に流入する水を呼び込んだ上で、追設した排水ポンプにより排水している。

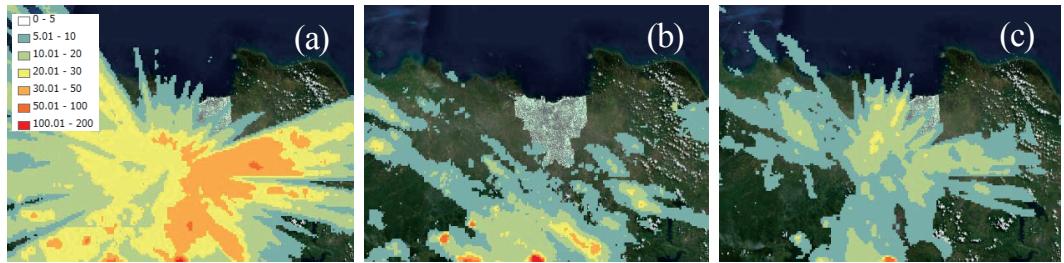


図4 各日における1時間レーダ降水強度の日積算データ(mm)。中心にジャカルタ市を図示している。((a)1月15日, (b)1月16日, (c)1月17日。ただし、1月17日は0時から9時までの積算値を表示している。)

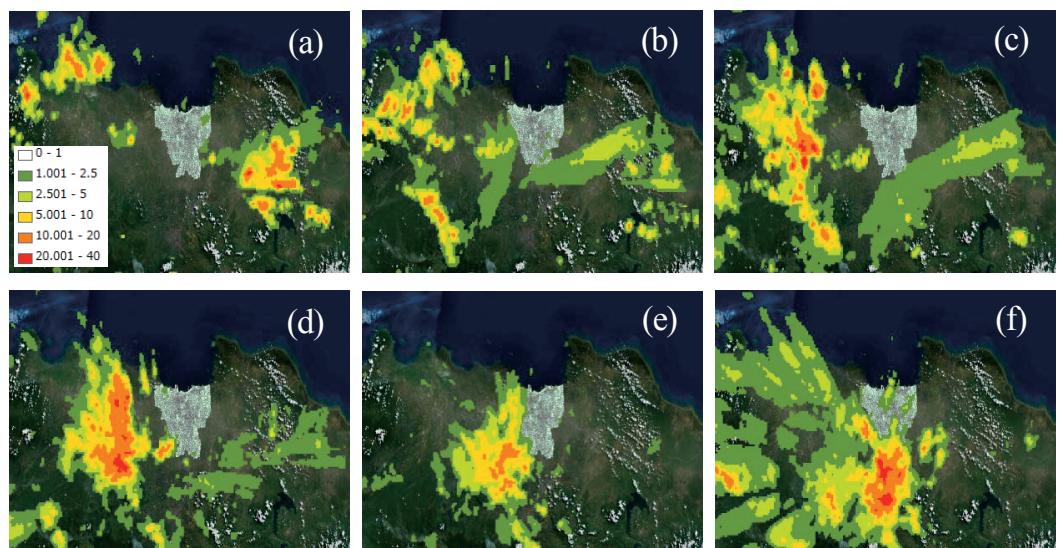


図5 各時間におけるレーダ降水強度(mm/hour)。中心にジャカルタ市を図示している。(上段：(a)1月15日1:23, (b)1月15日1:53, (c)1月15日2:23, 下段：(d)1月15日2:53, (e)1月15日3:23, (f)1月15日3:53)

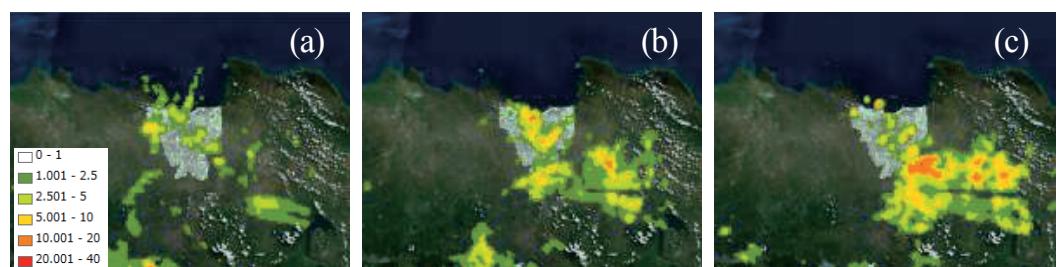


図6 各時間におけるレーダ降水強度(mm/hour)。中心にジャカルタ市を図示している。((a)1月17日6:29, (b)1月17日7:29, (c)1月17日8:29)



洪水被害によって工場内への電力供給が途絶することを勘案して、排水ポンプには非常用発電機が接続されている。排水ポンプや非常用発電機自体が洪水被害を受けて排水機能が停止しないように、排水ポンプや非常用発電機自体が数10cm程度嵩上げされている。排水ポンプとしては、据付式ポンプに加えて、可搬式ポンプも準備され、想定していない場所で浸水が発生しても柔軟に対応可能なようにしている。土嚢は24時間構内に常駐する警備員が迅速に設置できるよう、取り出し易い場所に保管されていた。さらに、工場の敷地全体を数十cm程度嵩上げし、氾濫水が敷地に入り込まないような対策が取られていた。

ソフト的な対策としては、緊急時対応計画の策定、排水溝への水位計の設置、緊急時対応訓練の実施、過去の洪水水位の記録、雨季前の用具点検、備蓄品の準備がされていた（写真2参照）。緊急時対応計画の中には、従業員への避難喚起や各種指示を実施する基準となるトリガーとして、排水溝に設置した水位計で計測した水

位やインドネシア気象庁 (BMKG) が公表するチリウン川マンガライ水門での水位を設定していた。これらの水位は、24 時間常駐の複数の警備員が定期的に確認している。敷地内の壁面の一部には、2002 年や 2007 年に発生した過去の洪水の浸水深を記入し、従業員に対して注意喚起を呼びかけている。また、警備員は雨季が到来する前に排水ポンプや自家発電機の動作試験や土嚢の状態点検を必ず行っている。点検するポイントに抜け・漏れが発生しないよう、チェックリストを用いて確実に点検を行っている。加えて、社内には緊急時用の備蓄品が相当数準備されていた。備蓄品は、従業員だけではなく、必要な時には、周辺に居住する住民に対しても配布可能なよう準備されていた。このような民間企業から周辺住民への支援体制は、災害時においては重要な効果を発揮すると考えられる。

これらのハード対策・ソフト対策は多くの在日企業と比較すると、予算を十分に投じ、かなり周到に準備されているように思われたが、それはジャカルタ市の雨季においては、豪雨が頻繁に発生して洪水被害を受けてしまうという現状を反映していると考えられる。

4. 今後の研究に向けて

2013 年ジャカルタ洪水時の降雨の時空間変動について、C バンドレーダデータを用いて確認した。今後、レーダデータを用いた河川氾濫モデリングや、気象モデルを用いた降雨の再現および降雨の時空間分布の変動が河川流量に与える影響や不確実性等に関して定量的に解析を行う予定である。加えて、企業の洪水対策に関する知見も継続して収集していく。

5. 謝辞

本研究は、東北大学災害科学国際研究所平成 25 年度特定プロジェクトの支援を受けて実施された。著者らが 2013 年 2 月に行った現地調査では、インドネシア国家防災庁、インドネシア公共事業省、JICA インドネシア事務所、八千代エンジニアリング株式会社に、非常に多くの有益な情報を提供頂いた。ここに記して関係各位に謝意を表します。

6. 参考資料

- 1) 東北大学災害科学国際研究所: IRIDeS Fact-finding missions to Jakarta, Indonesia (2013), 災害科学国際研究所災害速報, http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/topics/irides_jakarta_2nd_report.pdf.
- 2) 独立行政法人 海洋研究開発機構、独立行政法人 科学技術振興機構、独立行政法人 国際協力機構 (2013), 現地での気象観測によるジャカルタ豪雨の原因とメカニズムを解明, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20130514-2/index.html>.
- 3) Peiming Wu, Ardhi A. Arbain, S. Mori, J. Hamada, M. Hattori, F. Syamsudin, M. Yamanaka (2013), The Effects of an Active Phase of the Madden-Julian Oscillation on the Extreme Precipitation Event over Western Java Island in January 2013, SOLA, Vol. 9, 79–83.
- 4) 気象庁ホームページ, 世界の天候, <http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/>.