

Today's Earth による全球から市町村規模までの洪水予測

芳村圭（東京大学 生産技術研究所）

1. はじめに

世界の自然災害による経済被害額の年平均値において、洪水は約 1040 億米ドルと約三分の一を占めるとされ、地震被害額と同程度を占めている。日本においても 2018 年の西日本豪雨では 1 兆 1 千億円、2019 年の台風 19 号では 1 兆 8 千億円の被害が出ている。洪水による被害を軽減することが世界中で極めて重要かつ喫緊の課題であることには議論の余地は無い。

そのような背景もあり、2023 年 2 月に「気象業務法及び水防法の一部を改正する法律案」が閣議決定され、「民間事業者による予報の高度化」が盛り込まれた。新設される洪水予報のための許可基準は、2023 年 7 月時点で明らかになっていないが、現在存在する洪水に関する民間による予報業務の法的な制限が緩和されることが見込まれている。

一方後述する JAXA/東大が開発した Today's Earth では、全球から市町村スケールまでの水循環推計及び予測を行っており、洪水予報への利用可能性を鋭意検討している。本講義では、洪水予報をめぐる昨今の情勢にからめて、Today's Earth の成果を紹介する予定であるが、本稿では、あまりそこで触れることのない歴史を綴ろうと思う。

2. Today's Earth とは

Today's Earth (TE) (Yoshimura et al., 2008) とは、東大と JAXA が共同開発した、全世界を対象とした水文予測シミュレーションシステムである(図 1)。本システムでは、時々刻々と変化する気象状況に応じて、地表面や河川の状態を数値計算から導き出し、その結果をデータや画像として提供している。TE では、降雨流出過程は陸面物理モデル (MATSIRO)、河川流下過程は集水域ベースのマクロスケール氾濫原モデル (CaMa-Flood) を採用している。GSMaP の降水量、MODIS から得られた放射量等、衛星観測に基づくリアルタイムの気象情報を可能な限り多く使用し、土壌水分量や蒸発散量、河川流量等の陸域水文量の現況解析及び予測している。やや低解像度 (1/4 度) の全球版 (TE-Global) と高解像度 (1/60 度) の日本版 (TE-Japan) の 2 種類を公開しているが、日本版

の洪水予測情報は、2023 年 7 月現在、気象業務法の定めにより一般向けには非公開である。

全球水文量予測システム Today's Earth (TE)

陸上の水循環に関わる物理量(土壌中の水分量や河川流量等)について、衛星観測とモデルシミュレーションを融合し、リアルタイムにて推計・予測している



図 1 Today's Earth の概要

3. Today's Earth 開発秘話

3.1 TE 黎明期 (2002~2008)

TE の歴史は案外古く、2002 年くらいにまで遡る。当時、気象庁が GSM の予報データを GPV として配布しはじめ、東大生産研喜連川研がそのアーカイブを行っていた。同じ研究所にいた筆者は、修士論文で作った色水解析のモデル (CMA; Yoshimura et al., 2004) や水同位体循環モデル (ICM; Yoshimura et al., 2003) をリアルタイムに動かして可視化すれば、みんなの役に立つに違いないと思って作ったのが Today's Earth の原型である (図 2)。案の定全球の降水同位体比の値をリアルタイムで示したところで、

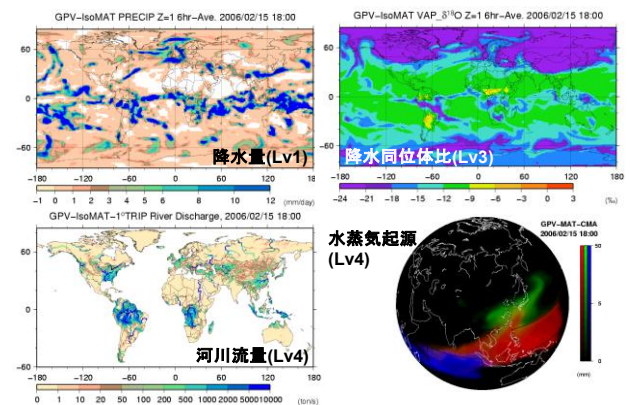
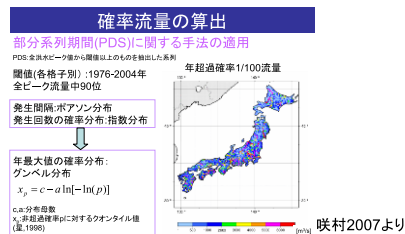


図 2 黎明期の Today's Earth の画像

観測もないので、何の役にも立たなかったが、それでも cron が自分の寝てる間にも図を描いてくれて、どこからでも explorer で見られるというのは、それ自体が楽しい作業であった。

2005 年修了の岡澤毅氏が 0.1 度の日本域河川網を作ってから、日本域版の整備に力を注いだ。そんな中、2007 年修了の咲村隆人氏が、0.1 度解像度での長期シミュレーションからはじき出した確率流量指数 (Discharge Probability Index; DPI) が、過去の洪水被害の分布と整合的であることを発見したのである。DPI を実時間で推計すれば、洪水の予測になるのでは、と考え、MSM の GPV 配布を使って作ったのが、0.1 度の日本域版である (芳村ら、2007; Yoshimura et al., 2008)。これを Today's Japan と呼ぶこととし、極端に高い DPI をアラートとしてメールに飛ばすようにした。TE の洪水予測が産声をあげた瞬間であった (図 3)。

確率流量を用いた洪水危険度の評価



- ・アメダスデータを用いた29年間の流量シミュレーションと水害被害統計を照らし合わせ、指数分布を仮定した確率流量を用いて洪水危険度を表現できることを見出した。(咲村、2007) → これを適用する。

図3 確率流量指数を TE に適用した際のスライド (2007 年のもの)

3.2 TE 低迷期 (2008~2014)

その後紆余曲折を経て、2008 年ごろ、JAXA/EORC の横軸研究 (それぞれの衛星ミッションを縦軸として、それらを横断的にみようという野心的な取り組み) の一環として、沖理子氏 (現 EORC センター長) と可知美佐子氏が中心となって、JAXA のリソースで TE を引きとってくれることとなった。その際、名前が Yesterday's Earth at EORC 略して YEE (イエー) となったのは、若干の黒歴史である。当時芳村はアメリカでポスドク中であつたので、詳しい経緯はわかっていないが、私が書いたぐちゃぐちゃのコードを丁寧に読み解いてくれただけで、感涙ものであつ

た。

ただし、そのあたりから、TE (YEE) は苦しい期間が続いていったように思う。一人の私利私欲のためではなく、JAXA という夢のある企業がやるのである。当然期待も大きい。だが、TE 自体は私の修論当時と本質的に変わりばえしていない。なぜなら汚いコードのポートに手一杯であり、マンパワーもそれほどあるわけではなかったためである。当の私はアメリカにおり、あまり状況も把握していなかったが、今思えばこの時期に継続してくれたからこそ今の TE があるのだと思う。当時の大変な時期を凌いでくれた沖氏と可知氏に改めて感謝申し上げる。ちなみに 2010 年以降は、芳村が日本に戻って TE チームに加わっているが、そんなのは微風に過ぎず、相変わらず苦境に立たされていた。

3.3 TE リボーン期 (2015~2020)

TE が社会に必要であり、しかも大きく改良しなければいけない、と強く思い至ったイベントが 2015 年 9 月に起こった平成 27 年関東・東北豪雨、いわゆる鬼怒川洪水である。調査論文 (芳村ら、2016) もあるので詳細はそちらを御覧いただきたいが、上述の思いに関するポイントは 2 つある。洪水は本当にどこにでも起こることの実感と、昔作った TE からの予測が的を射ていたということである。前者については、恥ずかしい話だが私自身洪水が首都圏で起こることをあまり現実的に思っていなかったが、当日 9 月 10 日、壊れた堤防の間近でごうごうと堤内地に流れ込む濁流をみて、本当にこのままではいけないと心から思った。後者については、黎明期に作った 0.1 度の日本版システムにおいて、9 月 9 日 15 時からの予報で、10 日午前ごろに大きな DPI が鬼怒川に出ていたことが、あとになって確認された (図 4)。実際に洪水に見舞われた常総市よりは上流でのアラートであったが、このようなアラートであっても必要な人が多くいるのだということと、この性能を良くしなければいけないということを改めて強く認識させられた。

その思いに共鳴し、TE を大きく発展させてくれた若者が二人いるので紹介したい。まず、2015 年当時卒論生だった石塚悠太氏である。彼は、私と一緒に鬼怒川洪水を目の当たりにしてから、洪水予測をテーマと決め、私が作った全球版と日本版を完全に上位互換するシステムを構築し、その性能についても

2015年9月9日15時時点で Today's Earthは鬼怒川洪水を予測できていたか？

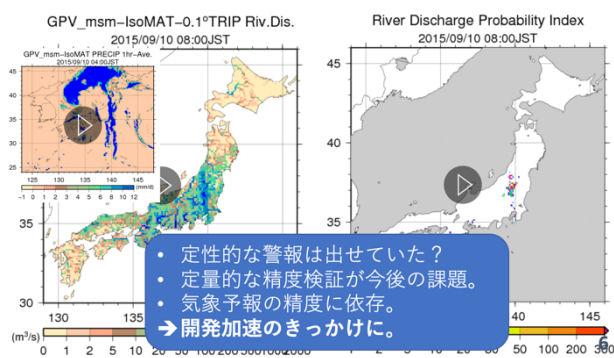


図4 黎明期の Today's Earth を用いた鬼怒川洪水の予測

より包括的に評価し、しかもより現代的な GUI も作る、という、一人何役か分の仕事をしたスーパーマンである。もう一名は、2017 年に JAXA に入社していきなり TE 担当となった、山本晃輔氏である。彼は、大きな視野をもって全体をしっかりと把握しながらも、細部にも気を配ることもできる稀有な人材で、現在の TE 開発の中心的な推進力を担っている。日本域の 1km 解像度化、アンサンブル化、といった開発要素から、TE を利用する民間企業や自治体との交渉まで、JAXA 職員らしくオールラウンドにできる、これまたスーパーマンである。こうした若手に恵まれたこともあり、TE はリボーンに成功したと考えている。

3.4 TE 発展期 (2020～)

まだどうなるかわからない期間ではあるが、冒頭で記したように、気象業務法改正による洪水予報の規制緩和の動きとともに進んでいることが特徴だと言えよう。また、約 60 自治体からの利用もあるほか、いくつかの企業との共同研究も進んでいるということからもわかるように、情報を作るところに努力をすれば良いだけでなく、情報の流し方もよく考えていかなければいけないことも、この時期の特徴である。一方で、洪水予測という点で、解像度の点から難しいところのあった全球版のほうでも、発展途上国など明らかに必要度の高いところにきちんと貢献していくことが重要かつ期待されているところであり、そのような発展も視野にいれて進めていく必要がある。

4. おわりに

すでに 20 年以上、Today's Earth に関わってきているが、ここに書ききれなかったたくさんの人々の力を借りて進めてきたのだということを、改めて思い知らされた。この場を借りてこころより御礼申し上げたい。

参考文献

- Yoshimura, K., T. Sakimura, T. Oki, S. Kanae, and S. Seto, Toward flood risk prediction: a statistical approach using a 29-year river discharge simulation over Japan, *Hydrol. Res. Lett.*, 2, 22-26, 2008.
- Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, Colored moisture analysis estimates of variations in 1998 Asian monsoon water sources, *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 1315-1329, 2004.
- Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, A quantitative analysis of short-term 180 variability with a Rayleigh-type isotope circulation model. *J. Geophys. Res.*, 108(D20), 4647, doi:10.1029/2003JD003477, 2003.
- 芳村圭, 岡澤毅, キムヒュンジュン, 瀬戸心太, 小岩祐樹, 沖大幹, 鼎信次郎, 気象庁メソ予報モデル GPV を用いた日本域河川流量予測システムの構築と検証, *水工学論文集* 第 51 巻, 403-408, 2007.
- 芳村 圭, 中村晋一郎, 鳩野美佐子, 向田清峻, 石塚悠太, 内海信幸, 木口雅司, 金炯俊, 乃田啓吾, 牧野達哉, 鼎信次郎, 沖大幹, 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による茨城県常総市における鬼怒川洪水に関する調査及び考察. *土木学会論文集 B1(水工学)*, 72, I_1273-I_1278, 2016.