

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ ĐỊA CHẤT
BỘ MÔN ĐỊA SINH THÁI VÀ CÔNG NGHỆ MÔI TRƯỜNG**

BÁO CÁO SEMINAR HỌC THUẬT

Đề tài:

**XÂY DỰNG KỊCH BẢN BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU
ĐỘ PHÂN GIẢI CAO CHO VIỆT NAM**

TS. Trần Anh Quân

Hà Nội, tháng 12 năm 2020

MỤC LỤC

<i>1. Nghiên cứu xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu</i>	2
1.1. Xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu ở Việt Nam	2
1.2 Những nghiên cứu về xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu	6
1.3 Tại sao lại cần dữ liệu khí tượng độ phân giải cao?	9
<i>2. Chương trình BCSD để xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu</i>	24
2.1. Control program.....	25
2.2. Main download program.....	27
2.3. Daily precipitation download.....	29
2.4 Chương trình tạo file mô tả cho dữ liệu (control file).....	32
2.5. Cấu trúc file mô tả cho dữ liệu dữ liệu khí hậu được xây dựng	36
2.6. Cấu trúc file mô tả cho dữ liệu quan trắc môi trường.....	36
2.7 Readme (nguyên bản Tiếng Anh của Tác giả)	37
<i>3. Sản phẩm ứng dụng kịch bản biến đổi khí hậu độ phân giải cao.....</i>	<i>39</i>
<i>4. Kết luận</i>	<i>42</i>
<i>5. Tài liệu tham khảo</i>	<i>43</i>

1. Nghiên cứu xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu

1.1. Xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu ở Việt Nam

Hiện nay, Biến đổi khí hậu là thách thức nghiêm trọng nhất đối với toàn nhân loại, ảnh hưởng sâu sắc và làm thay đổi toàn diện đời sống xã hội toàn cầu. Là một trong những nước chịu ảnh hưởng nặng nề nhất, Việt Nam coi ứng phó với biến đổi khí hậu là vấn đề có ý nghĩa sống còn. Do vậy Kịch bản biến đổi khí hậu (BĐKH) và nước biển dâng (NBD) cho Việt Nam được Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố lần đầu vào năm 2009 trên cơ sở tổng hợp các nghiên cứu trong và ngoài nước. Mức độ chi tiết của các kịch bản mới chỉ giới hạn cho 7 vùng khí hậu và dải ven biển Việt Nam để kịp thời phục vụ các Bộ, ngành và các địa phương thực hiện Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu.

Năm 2011, Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu được ban hành, xác định mục tiêu cho các giai đoạn và các dự án ưu tiên. Bộ Tài nguyên và Môi trường đã cập nhật kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng dựa trên các nguồn dữ liệu, các điều kiện khí hậu cụ thể của Việt Nam và các sản phẩm của các mô hình khí hậu.

Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam năm 2016 được cập nhật theo lộ trình đã được xác định trong Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu, nhằm cung cấp những thông tin mới nhất về diễn biến, xu thế biến đổi của khí hậu và nước biển dâng trong thời gian qua và kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng trong trong thế kỷ 21 ở Việt Nam. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng được xây dựng trên cơ sở Báo cáo đánh giá lần thứ 5 (AR5) của Ban liên Chính phủ về BĐKH (IPCC); số liệu khí tượng thủy văn được cập nhật đến năm 2014; xu thế BĐKH và NBD ở Việt Nam; các mô hình khí hậu toàn cầu và mô hình khí hậu khu vực độ phân giải cao cho khu vực Việt Nam,... Thông tin chi tiết kịch bản được cung cấp bao gồm: nhiệt độ, mưa (năm, mùa); các hiện tượng cực đoan khí hậu (bão, gió mùa, nắng nóng, rét đậm, rét hại, hạn hán); mực nước biển dâng đối với các tỉnh ven biển và hải đảo, nguy cơ ngập tương ứng với các mức nước biển dâng,... Các khoảng thời gian của thế kỷ 21 được xét đến, bao gồm: đầu thế kỷ (tương lai gần, 2016 - 2035); giữa thế kỷ (tương lai vừa, 2046 - 2065) và cuối thế kỷ (tương lai xa, 2080 - 2099).

Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam (phiên bản cập nhật năm 2016) có 10 điểm mới quan trọng so với phiên bản 2012, cụ thể như sau:

***Thứ nhất**, sử dụng số liệu cập nhật, bao gồm: (i) số liệu của 150 trạm quan trắc trên đất liền và hải đảo thuộc mạng lưới trạm khí tượng thủy văn của Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia được cập nhật đến năm 2014; (ii) số liệu mực nước biển của 17 trạm hải văn ven biển và hải đảo được cập nhật đến năm 2014; (iii) Số liệu mực nước biển đo đạc từ vệ tinh được cập nhật đến năm 2014; (iv) Số liệu địa hình của bản đồ tỷ lệ 1:2.000, 1:5.000 và 1:10.000 đo đạc bởi các dự án thuộc Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu được cập nhật đến năm 2015.

***Thứ hai**, sử dụng các kết quả cập nhật nhất của các mô hình khí hậu toàn cầu (thuộc dự án CMIP5), bao gồm: NorESM1-M, CNRM-CM5, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, ACCESS 1-0, CCSM4, CNRM-CM5, GFDL-CM3, MPI-ESM-LR, NorESM1-M, ACCESS1-0, NorESM1-M, NCAR, SSTHadGEM2, SSTGFDL-SST.

***Thứ ba**, sử dụng phương pháp chi tiết hóa động lực dựa trên 5 mô hình khí hậu khu vực độ phân giải cao, bao gồm: AGCM/MRI, PRECIS, CCAM, RegCM và cIWRF. Tổng cộng có 16 phương án tính toán.

***Thứ tư**, sử dụng phương pháp thống kê để hiệu chỉnh kết quả tính toán của các mô hình động lực theo số liệu thực đo tại các trạm quan trắc nhằm phản ánh điều kiện cụ thể của địa phương và giảm sai số hệ thống của mô hình.

***Thứ năm**, xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu và một số cực trị khí hậu chi tiết cho 63 tỉnh/thành phố, các quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa của Việt Nam và chi tiết cho 150 trạm khí tượng (tương đương cấp huyện).

***Thứ sáu**, xây dựng kịch bản nước biển dâng chi tiết cho 28 tỉnh ven biển, quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa.

***Thứ bảy**, xác định mức độ tin cậy của các kết quả tính toán khí hậu và nước biển dâng trong tương lai theo các khoảng phân vị.

***Thứ tám**, đánh giá nguy cơ ngập do nước biển dâng cho các khu vực đồng bằng, ven biển, các đảo và quần đảo của Việt Nam. Đối với các khu vực có bản đồ địa hình tỷ lệ 1:2000, bản đồ nguy cơ ngập được chi tiết đến cấp xã.

***Thứ chín,** nhận định về mực nước cực trị gồm nước dâng do bão, thủy triều và nước dâng do bão kết hợp với thủy triều ven bờ biển Việt Nam, để người sử dụng có thể hình dung được những tác động kép của nước biển dâng do biến đổi khí hậu và cực trị mực nước biển do các yếu tố tự nhiên như nước dâng do bão và triều cường.

***Thứ mười,** nhận định về một số yếu tố có tác động kép đến nguy cơ ngập vì nước biển dâng do biến đổi khí hậu, bao gồm nâng hạ địa chất và sụt lún do khai thác nước ngầm khu vực đồng bằng sông Cửu Long và dải ven biển miền Trung.

Tuy nhiên để khai thác, sử dụng Kịch bản BĐKH và NBD trên đây có hiệu quả cần lưu ý những khuyến nghị sau đây:

1) Việc sử dụng kịch bản BĐKH và NBD cho Việt Nam trong đánh giá tác động và xây dựng các giải pháp ứng phó trong thời gian tới, cần được xem xét và lựa chọn phù hợp từng ngành, lĩnh vực và địa phương với các tiêu chí như: Tính đặc thù (của ngành, lĩnh vực, địa phương...); tính đa mục tiêu; tính hiệu quả nhiều mặt (kinh tế, xã hội, môi trường); tính bền vững; tính khả thi, khả năng lồng ghép với các chiến lược, chính sách và kế hoạch phát triển.

2) Khi áp dụng Kịch bản BĐKH và nước biển dâng, các bước sau đây được khuyến nghị: (i) Xác định các thông số khí hậu quan trọng đối với ngành và đối tượng nghiên cứu; Chọn kịch bản BĐKH và nước biển dâng; Sử dụng các công cụ tính toán và phân tích để xác định những thông tin quan trọng như sự thay đổi chế độ dòng chảy, ngập lụt, xâm nhập mặn, nước dâng do bão, biến đổi đường bờ,... để phục vụ xây dựng và triển khai kế hoạch hành động.

3) Việc triển khai, xây dựng và thực hiện các giải pháp ứng phó với biến đổi khí hậu không nhất thiết phải tiến hành đại trà ở quy mô thế kỷ, mà cần phải có sự phân kỳ thực hiện; cần phải xác định được mức độ ưu tiên dựa trên nhu cầu thực tiễn, nguồn lực có được trong từng giai đoạn để lựa chọn kịch bản phù hợp nhất.

4) Theo Hiệp định Paris về biến đổi khí hậu, tất cả các quốc gia đều phải hành động để giữ cho nhiệt độ toàn cầu tăng ở mức dưới 2°C so với thời kỳ tiền công nghiệp. Điều này có nghĩa Kịch bản nồng độ khí nhà kính trung bình

thấp (kịch bản RCP 4.5) có nhiều khả năng xảy ra hơn so với kịch bản nồng độ khí nhà kính khác.

5) Kịch bản RCP 4.5 có thể được áp dụng đối với các tiêu chuẩn thiết kế cho các công trình không mang tính lâu dài và các quy hoạch, kế hoạch ngắn hạn.

6) Kịch bản nồng độ khí nhà kính cao (Kịch bản RCP 8.5) cần được áp dụng cho các công trình mang tính vĩnh cửu và các quy hoạch, kế hoạch dài hạn.

7) Kịch bản BĐKH và NBD luôn tồn tại những điểm chưa chắc chắn vì còn phụ thuộc vào việc xác định các kịch bản phát thải khí nhà kính (phát triển kinh tế - xã hội ở quy mô toàn cầu, mức tăng dân số và mức độ tiêu dùng của thế giới, chuẩn mực cuộc sống và lối sống, tiêu thụ năng lượng và tài nguyên năng lượng toàn cầu, vấn đề chuyển giao công nghệ giữa các nước phát triển và các nước đang phát triển, việc thay đổi sử dụng đất,...), những hiểu biết còn hạn chế về hệ thống khí hậu toàn cầu và khu vực, quá trình tan băng, phương pháp xây dựng kịch bản... Do đó, khi sử dụng kịch bản BĐKH trong đánh giá tác động của BĐKH, cần xem xét và phân tích cẩn thận mọi khả năng xảy ra của khí hậu tương lai. Người sử dụng nên tham vấn ý kiến chuyên gia để xác định các giá trị cũng như khoảng biến đổi phù hợp nhất trong quá trình lập kế hoạch.

8) Mô hình khí hậu đang được tiếp tục phát triển để nâng cao mức độ chắc chắn của kịch bản BĐKH và nước biển dâng. Kịch bản BĐKH và nước biển dâng sẽ được tiếp tục cập nhật theo lộ trình của Ban liên chính phủ về BĐKH. Vì thế việc đánh giá tác động và khả năng bị tổn thương cần được rà soát, cập nhật khi kịch bản mới được công bố. Hội nghị toàn cầu về biến đổi khí hậu năm 2015 đã đề nghị IPCC vào năm 2018 công bố báo cáo đặc biệt về kịch bản nồng độ khí nhà kính và các tác động khi nhiệt độ toàn cầu tăng 1,5°C so với thời kỳ tiền công nghiệp. Trên cơ sở đó, Việt Nam cũng sẽ có các bổ sung tương ứng.

9) Kịch bản BĐKH và nước biển dâng chỉ xét đến sự biến đổi của các yếu tố khí hậu và mực nước biển dâng trung bình do BĐKH. Bản đồ nguy cơ ngập được xây dựng dựa trên mực nước biển dâng trung bình do BĐKH. Các

yếu tố động lực khác có liên quan như sự nâng hạ địa chất, sự thay đổi địa hình, sụt lún đất do khai thác nước ngầm, thay đổi đường bờ biển, ảnh hưởng của thủy triều, nước dâng do bão, nước dâng do gió mùa, ảnh hưởng của các công trình thủy điện bậc thang, xâm nhập mặn,... chưa được xét đến trong kịch bản này. Các công trình giao thông và thủy lợi như đê biển, đê sông, đê bao, đường giao thông,... cũng chưa được xét đến khi xây dựng bản đồ nguy cơ ngập do nước biển dâng.

Vì thế, khi sử dụng Kịch bản BĐKH và nước biển dâng để đánh giá tác động của BĐKH, những yếu tố động lực nêu trên cần được xét đến trong tính toán đặc biệt là nâng hạ địa chất, sụt lún do khai thác nước ngầm, các công trình hạ tầng, giao thông và thủy lợi, lũ và ngập lụt do lũ cần được tính đến cùng với nước biển dâng do BĐKH trong xác định ngập lụt.

1.2 Những nghiên cứu về xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu

Các nhà khoa học ngoài nước trong những năm gần đây đã có khá nhiều những nghiên cứu về sử dụng bộ số liệu mưa vệ tinh cũng như sản phẩm mưa vệ tinh toàn cầu (GSMaP) trong công tác cảnh báo, dự báo và nghiên cứu về mưa.

Lượng mưa là một trong những thông số quan trọng nhất trên hệ thống trái đất, sự phân bố toàn cầu của lượng mưa và sự thay đổi của nó là thông tin cần thiết để mô hình hóa các chu trình nước, duy trì môi trường sinh thái, sản xuất nông nghiệp, cải tiến độ chính xác của các bản tin dự báo thời tiết, cảnh báo lũ, v.v... (Ushio, 2013).

Có một số phương pháp để thu thập dữ liệu lượng mưa, bao gồm việc sử dụng mạng lưới đo mưa thông thường và hệ thống cảm biến từ xa - chẳng hạn như radar thời tiết trên mặt đất và vệ tinh. Thiết bị đo mưa thông thường là một công cụ tương đối đơn giản, trực tiếp lấy mẫu mưa bằng cách tích lũy giọt mưa liên tục trong một khoảng thời gian cố định tại các vị trí riêng lẻ (Strangeways, 2007; Mustafa, 2007). Thiết bị đo mưa thường được lắp đặt trên đất liền, mật độ nhìn chung là thưa thớt. Mạng lưới thiết bị đo mưa mặt đất cung cấp lượng mưa đo với mức độ chính xác cao tại các địa điểm cụ thể, nhưng trong hầu hết trường hợp thì phân bố rải rác khó nắm bắt chính xác những thay đổi trong không gian và thời gian của hệ thống mưa (Villarini và các cộng sự - ccs, 2008).

Với hệ thống radar thời tiết phát ra các xung năng lượng điện từ nên có ưu điểm là cho kết quả đo trực tiếp, bao phủ được vùng rộng lớn, sản phẩm có độ phân giải và chính xác cao. Do vậy, radar thời tiết thuận lợi cho cảnh báo, dự báo và theo dõi diễn biến các hiện tượng thời tiết nguy hiểm trong tầm hoạt động của radar thời tiết. Tuy nhiên, radar thời tiết thường hoạt động không tốt ở khu vực địa hình đồi núi, không phủ tới các vùng xa, các vùng bị che khuất và chi phí vận hành còn tốn kém.

Một nguồn dữ liệu lượng mưa gần thời gian thực khác được lấy từ quan sát vệ tinh dựa trên ước lượng trung bình bề mặt. Dữ liệu lượng mưa dựa trên vệ tinh cung cấp thêm thông tin có giá trị cho dữ liệu khí hậu cơ sở trên phạm vi địa lý rộng lớn, đặc biệt trong khu vực có rất ít hoặc mất số liệu mặt đất (WMO, 2011). Mặt khác, những dữ liệu vệ tinh ngày càng có sẵn, có thể sử dụng trên toàn cầu từ mạng lưới internet và không bị gián đoạn trong các tình huống thời tiết không thuận lợi (Harris và ccs, 2007). Do đó, dữ liệu mưa vệ tinh có tiềm năng trở thành nguồn số liệu đầu vào đáng giá cho công tác dự báo lũ, mưa lớn.

Các số liệu vệ tinh có thể chứa đựng các sai số gây ra bởi các yếu tố như tần số lấy mẫu, chu kỳ ngày đêm của lượng mưa, trường cảm biến không đồng nhất, và các thuật toán không chắc chắn về độ phản hồi mưa (Adeyewa và Nakamura, 2003). Lượng mưa vệ tinh có thể có chất lượng kém, đặc biệt là trên các vùng miền núi và ven biển (Kubota, 2009; Shige, 2013). Trong khi đó thiết bị đo mưa mặt đất có độ chính xác khá cao so với các hệ thống viễn thám, và vì lý do này vai trò của nguồn số liệu đo mưa mặt đất là không thể thiếu (Testik, 2011), và thường được sử dụng để cải thiện độ chính xác và khả năng ứng dụng của các sản phẩm mưa vệ tinh (Duo và ccs, 2011).

Hiện nay có nhiều nguồn sản phẩm mưa vệ tinh có độ phân giải cao toàn cầu khác nhau. Có thể kể đến, dữ liệu lượng mưa từ Chương trình đo mưa nhiệt đới bằng vệ tinh - Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (Simpson và ccs, 1996); Dữ liệu tính mưa theo phương pháp mạng thần kinh nhân tạo - Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN) (Sorooshian và ccs, 2000); Phương pháp tính mưa theo kỹ thuật Morphing - Climate Prediction Center MORPHing product (CMORPH) (Joyce và ccs, 2004), và Sản phẩm bản đồ mưa vệ tinh toàn cầu -

Global Satellite Mapping of Precipitation product (GSMaP) (Ushio và ccs, 2009).

Mei và ccs (2014) khi nghiên cứu trên khu vực sông Adige (phía đông dãy núi Alps khu vực nước Ý) giai đoạn 2003-2010, các tác giả cho rằng thông tin chính xác định lượng mưa trên khu vực miền núi là rất quan trọng vì ở đó dễ xảy ra mối nguy hiểm như lũ quét, sạt lở đất, và đất đá trôi bởi các sự kiện mưa lớn. Do số lượng các trạm quan trắc trên các khu vực miền núi còn hạn chế, nên các tác giả trên đã sử dụng các sản phẩm lượng mưa ước lượng bởi vệ tinh. Từ ba sản phẩm mưa vệ tinh TRMM 3B42, CMORPH, PERSIANN đều cho thấy không có sản phẩm mưa vệ tinh nào được coi là lý tưởng cho việc phát hiện và định lượng các sự kiện mưa lớn trên khu vực nghiên cứu trên. Giữa số liệu mưa đo tại trạm và các sản phẩm của TRMM 3B42 có sự phù hợp với nhau hơn, đặc biệt là trong những tháng mùa ẩm có liên quan đến những sự kiện đối lưu cường độ mạnh. Tất cả các sản phẩm vệ tinh nêu trên cho thấy phạm vi sai số phụ thuộc biên độ ước lượng quá cao ở khu vực mưa thấp đến ước lượng mưa thấp ở những nơi mưa cao; hiệu ứng này rõ rệt hơn ở CMORPH và PERSIANN.

Từng sản phẩm mưa vệ tinh có những điểm mạnh riêng và điểm yếu riêng của nó (Gottschalk và ccs 2005; Ebert và ccs 2007; Tian và ccs 2007, 2009; Sapiano và Arkin 2009). Ví dụ, TRMM 3B42 có sự kết hợp từ nhiều nguồn dữ liệu đo mưa toàn cầu giúp làm giảm đáng kể những sai số hệ thống, nhưng nó có sự chậm trễ trong khai thác số liệu do độ trễ của dữ liệu đo. Trong khi đó, CMORPH cho các ước lượng mưa thiên thấp trên các bề mặt đất phủ băng, tuyết (Bell và ccs, 2014).

Bell và ccs (2014) cũng chỉ ra rằng, đối với các sản phẩm mưa vệ tinh toàn cầu có độ phân giải không gian và thời gian cao đã được cung cấp bởi kết hợp số liệu từ sóng siêu cao tần thụ động và hồng ngoại (IR): nhìn chung, kết quả xác nhận trên đại dương là tốt nhất, và kết quả trên các vùng miền núi xấu nhất. Chất lượng kém trên bờ biển và các đảo nhỏ do các vấn đề của phản hồi sóng siêu cao tần thụ động (Kubota, 2009). Trong nhiều thập kỷ qua, đã có nhiều cố gắng để cải thiện ước lượng mưa vệ tinh bằng cách xác định các lỗi đặc trưng của các sản phẩm mưa vệ tinh thông qua việc so sánh chúng với lượng mưa quan trắc lượng mưa trực tiếp từ mặt đất (Ebert và ccs, 1996). Ước

lượng mưa từ vệ tinh đại diện cho tỷ lệ lượng mưa trung bình trên khu vực kích thước tương đương với độ phân giải thiết bị trong khi lượng mưa đo được từ thiết bị mặt đất đại diện cho khu vực xung quanh nó (Olson, 1989). Thông tin đo đạc từ một số các vệ tinh trên quỹ đạo hiện nay được sử dụng để tính toán và đưa ra bản đồ lượng mưa toàn cầu.

1.3 Tại sao lại cần dữ liệu khí tượng độ phân giải cao?

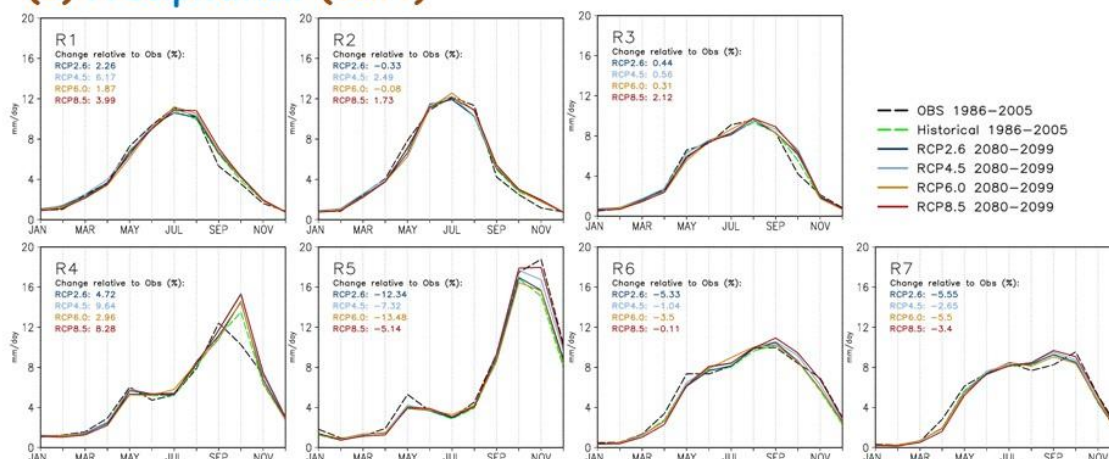
Conclusion

- A large high-resolution dataset was built upon a total of 31 GCMs and 4 RCPs. BCSD can be used with reasonable accuracy.
- Quantile mapping bias-correction has good applicability to keep the simulation bias at a low level
- Short historical records, low quality of original GCMs affect the quality of BCSD simulation
- Some limitations need to be well considered before using BCSD simulation results

28

AFD (5) Future change of Vietnam Climate

(b) Precipitation (con't)



Seasonal cycle of observed (1986-2005) and future simulation (2080-2099) for the seven climate regions

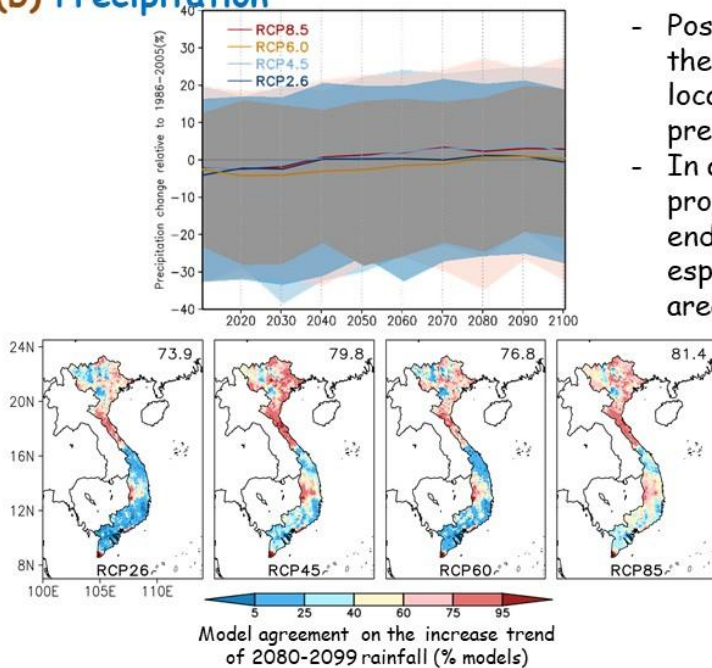
- Bias in training dataset was also carried into the future simulation, indicate the limitation in short historical data

27

AFD (5) Future change of Vietnam Climate

AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT

(b) Precipitation



- Positive correlation between the long-term increment of local temperature and local precipitation
- In all RCPs, rainfall is projected to increase at the end of the 21st century, especially in the Northern areas.

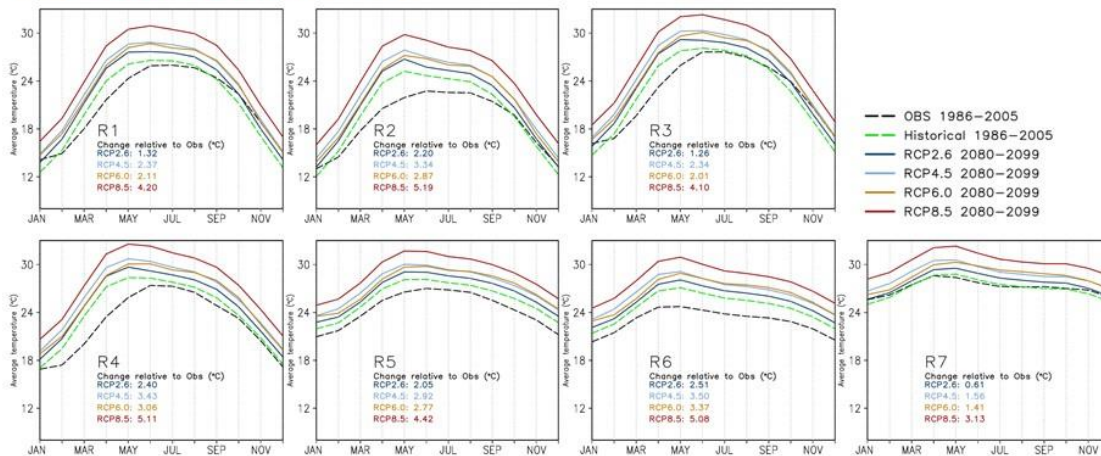
Projected precipitation changes and uncertainty for Vietnam by different RCPs

26

AFD (5) Future change of Vietnam Climate

AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT

(a) Temperature (con't)

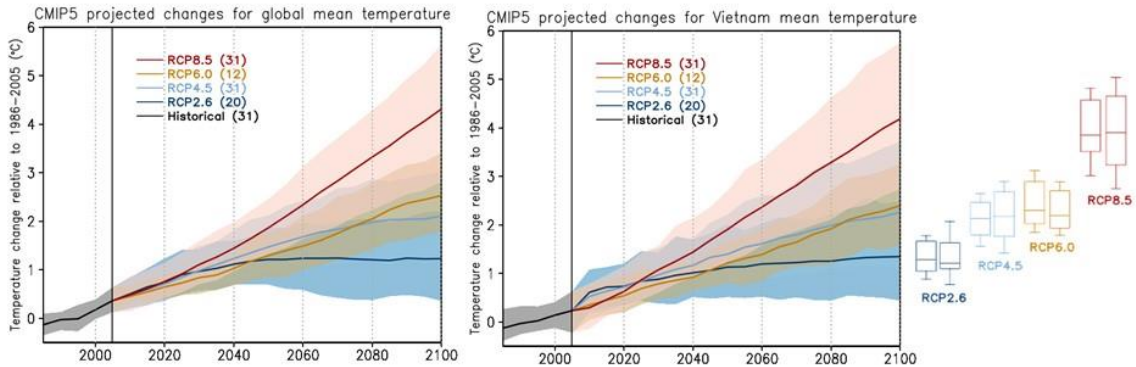


Seasonal cycle of observed (1986-2005) and future simulation (2080-2099) for the seven climate regions

- Extreme temperature change may occur in R2 region in all RCPs
- Similar timing issues in summertime also found in future simulation indicate that imperfect training dataset may affect future simulation accuracy.

25

(a) Temperature



Projected temperature change and uncertainty for global and Vietnam

- Larger uncertainty in Vietnam simulation than Global simulation
- Uncertainty level becomes large toward the end of the 21st Century
- Overall, the finding here ties nicely with the findings by MONRE (2016)

24

SUMMARY OF BCSD DOWNSCALING RESULTS

Strengths

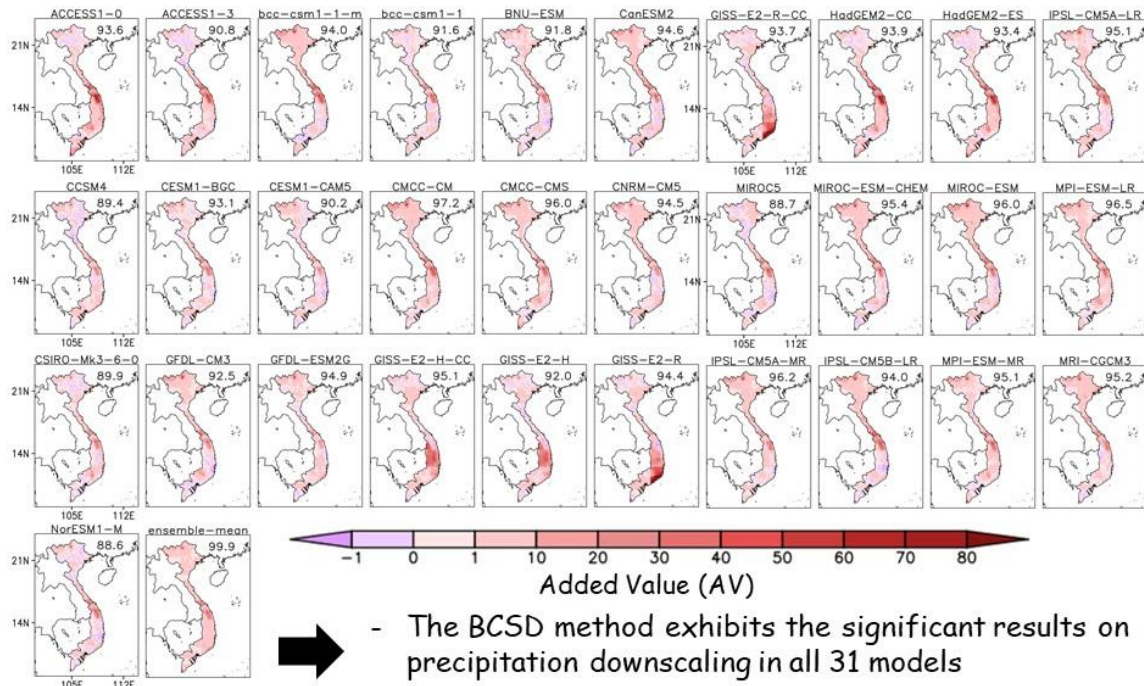
- Well capture the spatial and temporal distribution of precipitation and temperature
- Reasonable accuracy, bias level was kept low
- Large number of downscaled GCMs and RCPs
- Simulation length

Weaknesses

- Much depend on the quality of historical data. Short historical records strongly affected simulation results
- Lower quality of temperature downscaling compare to precipitation downscaling
- Quantile mapping bias correction has limitations

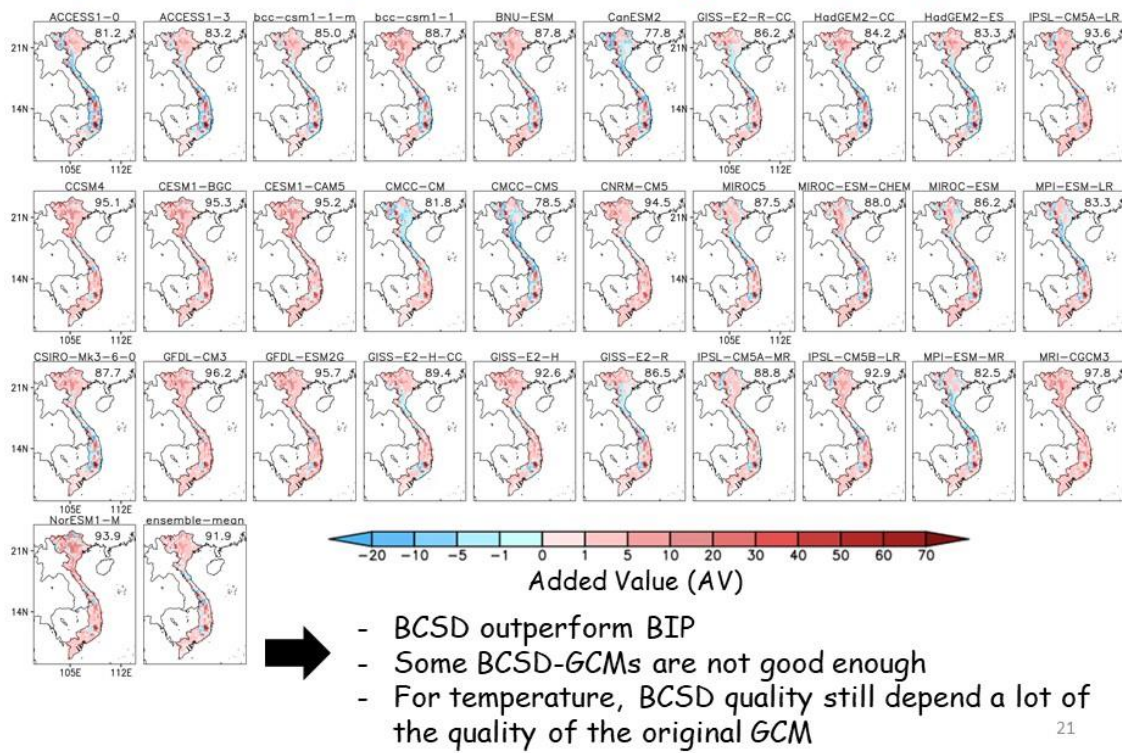
23

(c) Comparison of BCSD statistical downscaling method over the simple Bilinear Interpolation method - precipitation (con't)



22

(c) Comparison of BCSD statistical downscaling method over the simple Bilinear Interpolation method - temperature (con't)



21

(c) Comparison of BCSD statistical downscaling method over the simple Bilinear Interpolation method

- Added Value (AV) was calculated follow Di Luca et al (2016)

SPATIAL DISTRIBUTION

$$AV_d = d(X_{BIP-GCM}, X_{OBS}) - d(X_{BCSD-GCM}, X_{OBS}) \quad [1]$$

d : Distance metric
 $X_{BIP-GCM}$: Bilinear - interpolated CMIP5 models of variable X
 $X_{BCSD-GCM}$: Ensemble of BCSD downscaled CMIP5 of variable X
 X_{OBS} : Observed data of variable X

$$AV_{mse} = \overline{(X_{BIP-GCM} - X_{OBS})^2} - \overline{(X_{BCSD-GCM} - X_{OBS})^2} \quad [2]$$

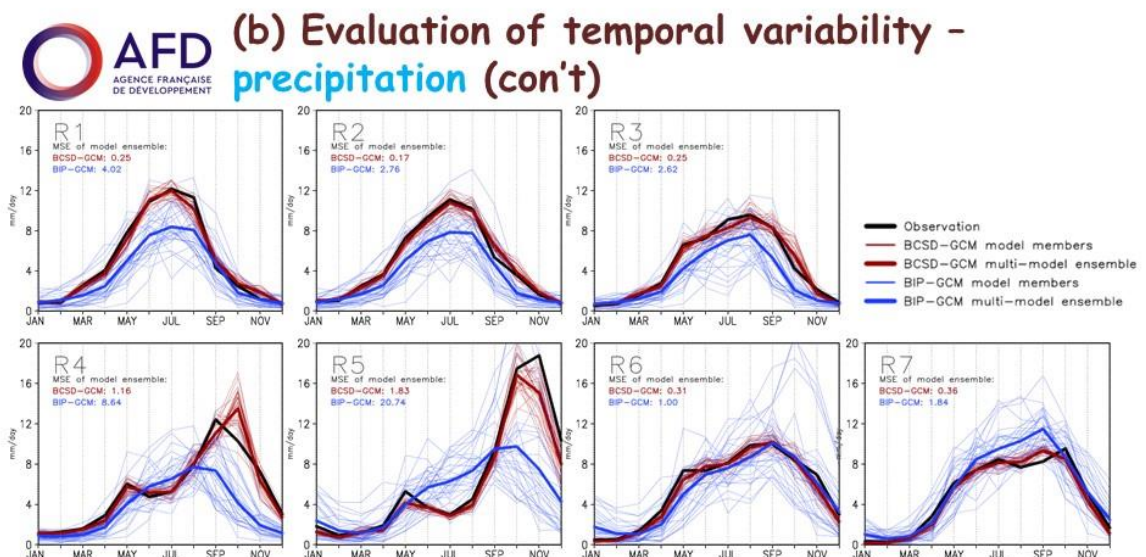
$$= MSE_{BIP-GCM} - MSE_{BCSD-GCM}$$

- The higher AV is, the better simulation results
- AV is calculated for every grids cells in simulation results

PREPARATION OF BIP-GCM

- Original GCMs are bilinear-interpolated to 0.1 degree - same with BCSD downscaled
- Bilinear-interpolated GCMs are made for 31 GCMs and ensemble models

20

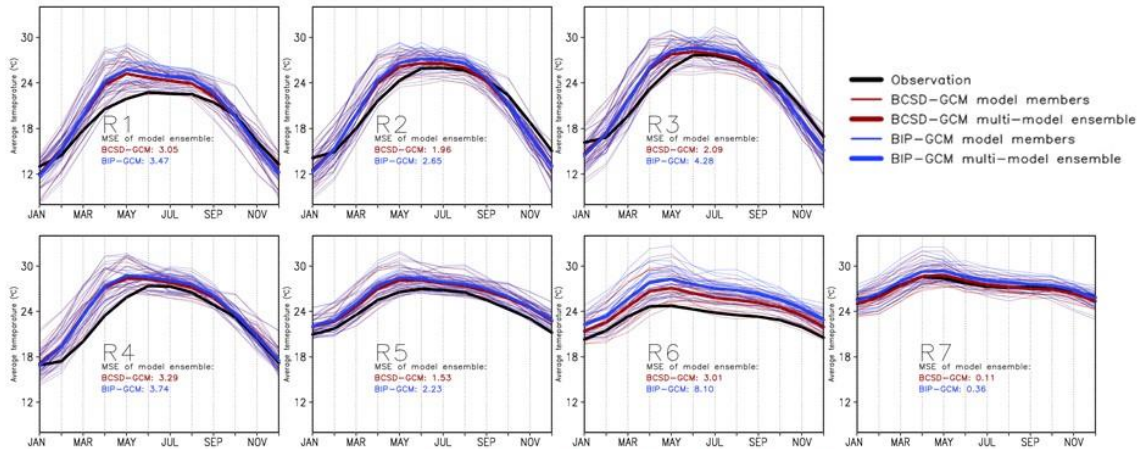


Comparison between the seasonal cycle of observed and simulated precipitation for the seven climate regions of Vietnam for the test period 1996-2005

- ➡
- BCSD continue to show the significant improvement of over BIP
 - Rainfall seasonal cycles were also well reproduced
 - Some large bias found in R4 and R5

19

(b) Evaluation of temporal variability - temperature (con't)

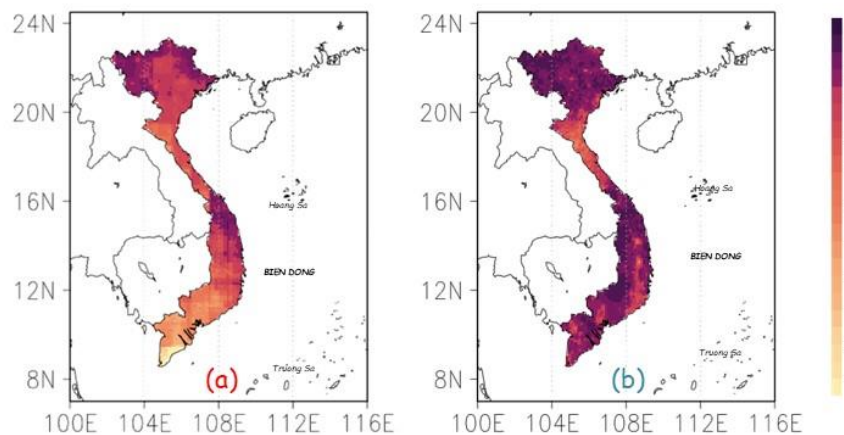


Comparison between the **seasonal cycle of observed and simulated temperature** for the seven climate regions of Vietnam for the test period 1996-2005

- ➔ - Seasonal temperature cycles were well reproduced
- ➔ - BCSD is better than Bilinear Interpolation
- ➔ - Late and early onset issues of summertime

18

(b) Evaluation of temporal variability

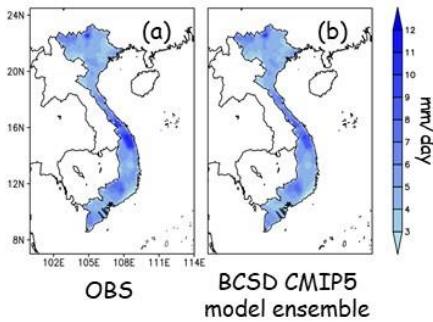


The gridded distribution of temporal correlation of seasonal cycle between BCSD downscaled CMIP5 models ensemble and OBS dataset for the period 1996-2005 for **(a) temperature** and **(b) precipitation**.

- ➔ - High temporal correlation coefficient with OBS for both simulated temperature and precipitation
- ➔ - BCSD performed better on precipitation data

17

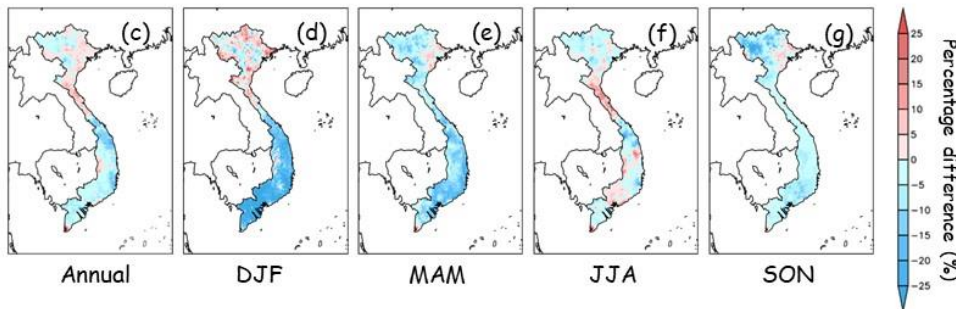
(a) Evaluation of spatial variability (precipitation) (con't)



- Bias ranges mostly from $\pm 10\%$, quite low
- Acceptable simulation accuracy for both temperature and precipitation downscaling

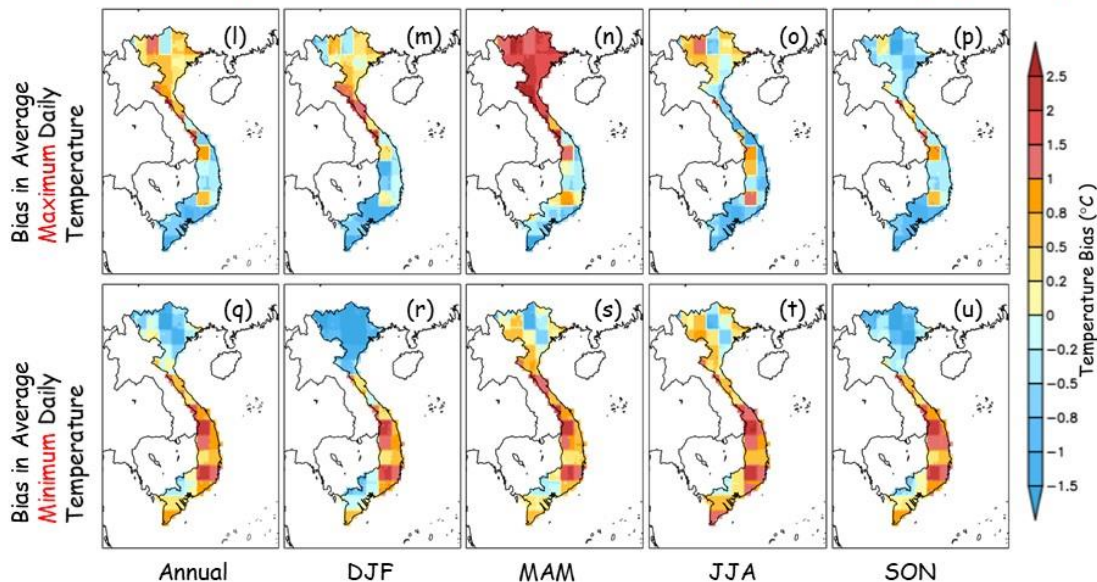
Why simulation results have bias?

- Quantile Mapping bias-correction method is naturally imperfect
- Short training dataset (*Results not shown*)
- Trade off: Maintaining temperature trend reduce the effective of Quantile Mapping
- GCM quality



16

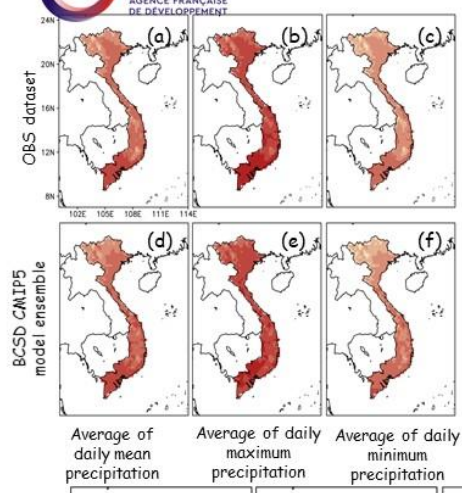
(a) Evaluation of spatial variability (maximum and minimum temperature) (con't)



- Larger bias range in maximum and minimum daily temperature simulation show the disadvantage of quantile mapping when tends to over/underestimate the value near the upper/lower ends of the distribution

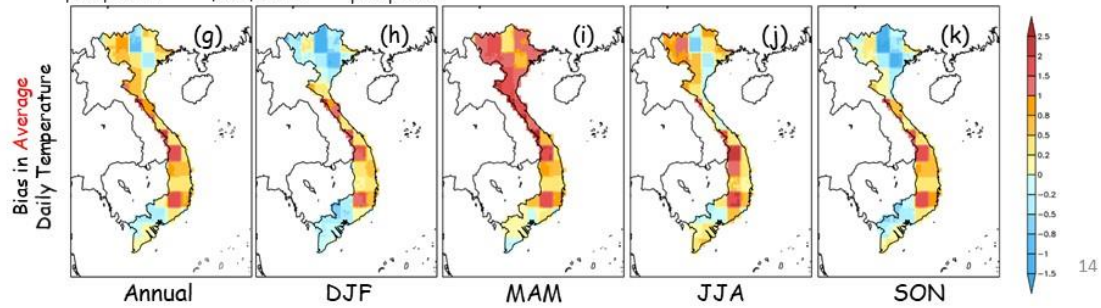
15

(4) Verification results of BCSD downscaling

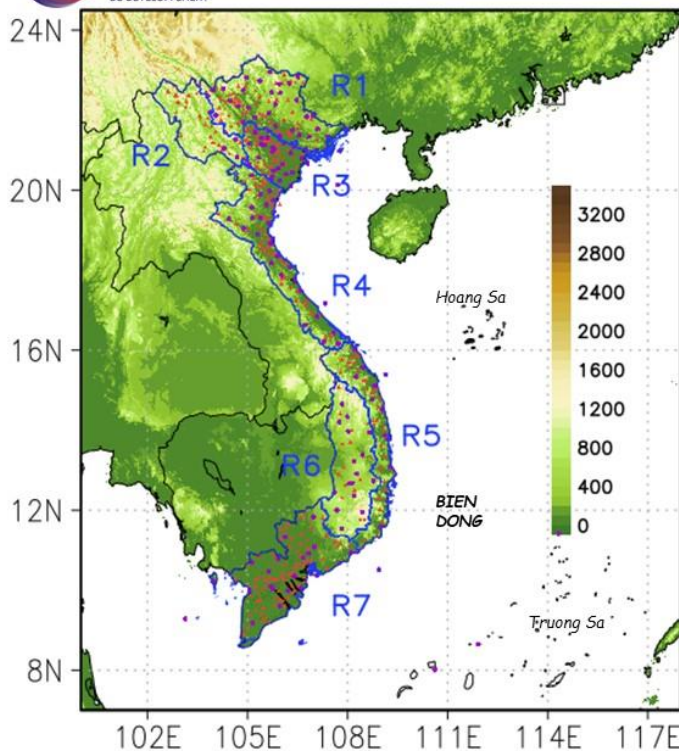


(a) Evaluation of spatial variability (temperature)

- Satisfactory agreement between BCSD CMIP5 ensemble and observation dataset
- Simulation tends to overestimate temperature
- Bias distributes unevenly in space and time
- Magnitude of bias varies in accordance with the distance between the lower-end and the upper-end of the distribution



Gridded Observation dataset



Based on the establishment of VnGP dataset (Nguyen-Xuan et al. 2016), the gridded observation datasets (OBS) for precipitation and temperature were prepared based on:

- 481 rain gauges
- 157 weather stations for temperature data

7 Climate Regions:

- Northwest region (R1)
- Northeast region (R2)
- Red River Delta region (R3)
- North Central region (R4)
- South Central region (R5)
- Central Highland region (R6)
- South region (R7)

GCMs and Scenarios (CMIP5)

Historical scenarios	: 31 GCMs
RCP4.5 and RCP8.5	: 31 GCMs
RCP2.6	: 20 GCMs
RCP6.0	: 12 GCMs

Variables

- Precipitation data (*pr*)
- Average near surface temperature (*tas*)
- Maximum near surface temperature (*tasmax*)
- Minimum near surface temperature (*tasmin*)

GCMs used

ACCESS1-0	CESM1-CAM5	GISS-E2-H-CC	IPSL-CM5B-LR
ACCESS1-3	CMCC-CM	GISS-E2-R	MIROC-ESM
bcc-csm1-1	CMCC-CMS	GISS-E2-R-CC	MIROC-ESM-CHEM
bcc-csm1-1-m	CNRM-CM5	HadGEM2-CC	MIROC5
BNU-ESM	CSIRO-Mk3-6-0	HadGEM2-ES	MPI-ESM-LR
CanESM2	GFDL-CM3	IPSL-CM5A-LR	MPI-ESM-MR
CCSM4	GFDL-ESM2G	IPSL-CM5A-MR	MRI-CGCM3
CESM1-BGC	GISS-E2-H		

12

(3) Experiments setup

Training and Testing configurations

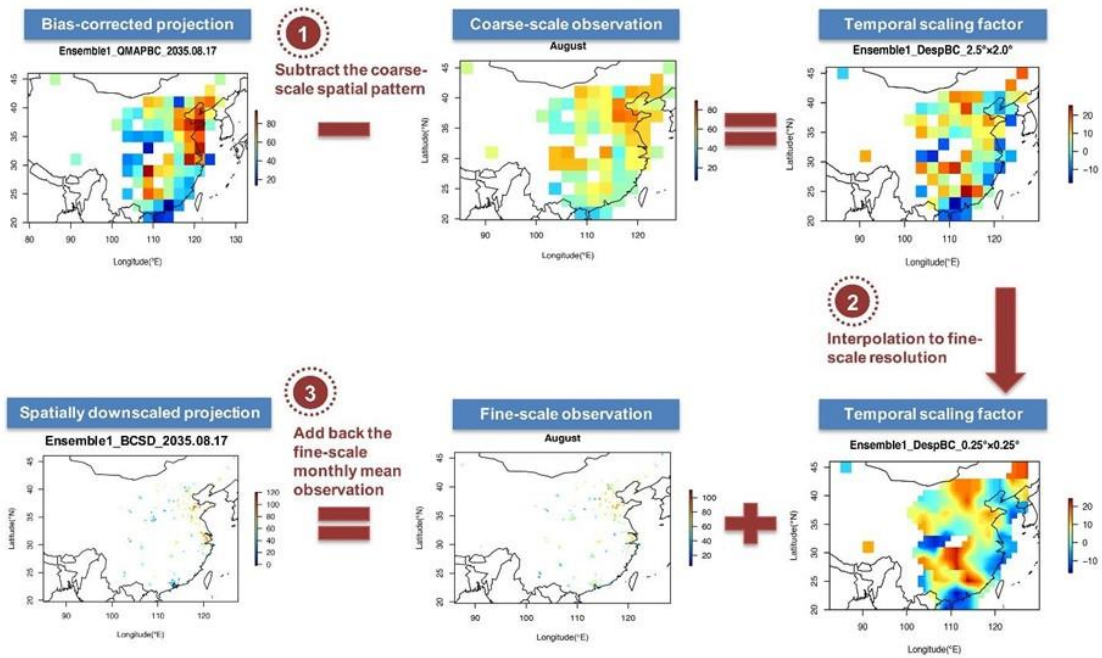
- Use dataset 1980-2005
- Preliminary training set: 1980-1995 (16 years)
- Test set: 1996-2005 (10 years)

Final Future Downscaling products

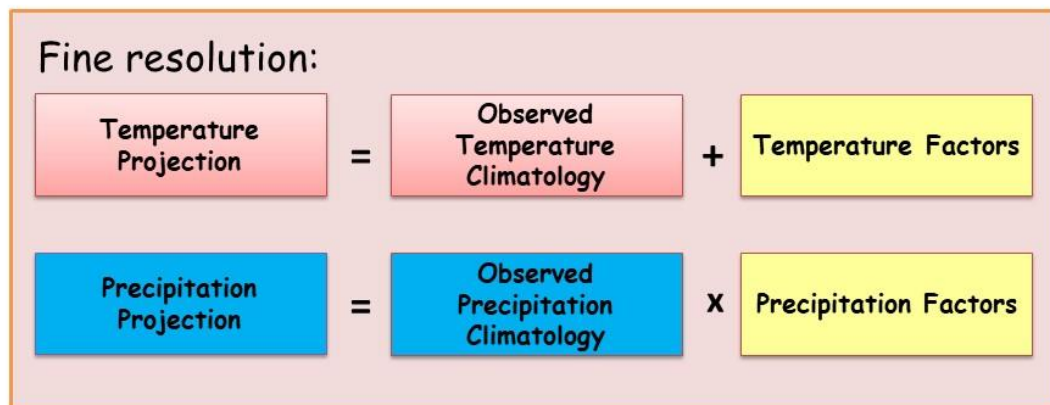
- Target resolution: 0.1 degree (10km)
- Final training dataset: 1980-2005 (26 years)
- Future downscaling: 2006-2100

11

Three steps of Spatial Disaggregation

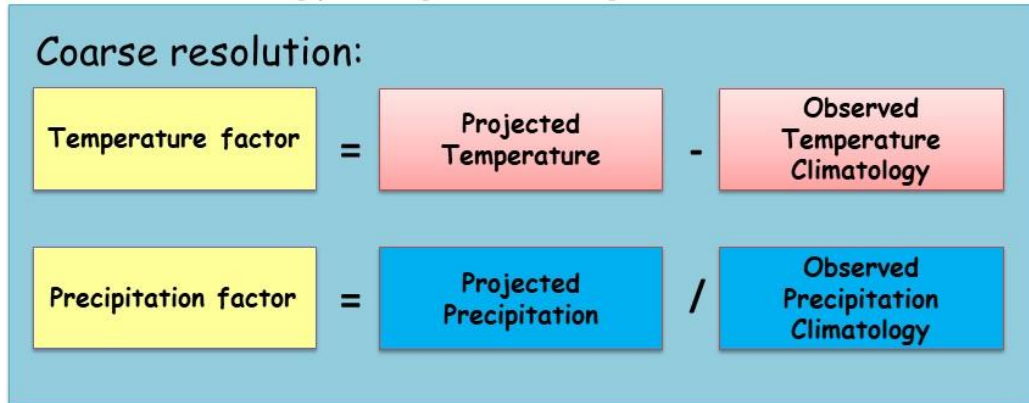


3. Merge 0.1° change-factor with observed climatology

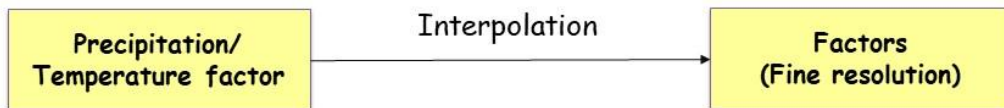


Three steps of Spatial Disaggregation

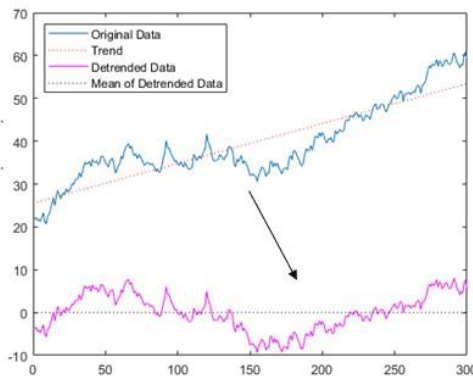
1. Compare bias-corrected projection data at coarse resolution to regridded observed climatology using the change-factor:



2. Downscale change factors from 1° to 0.1° resolution



BCSD downscaling for temperature



Before using quantile mapping (QM) to bias correct, temperature data was decomposed into 2 pattern

$$\text{temperature} = \text{trend} + \text{noise}$$

QM was adopted only for noises (random changes, anomalies, unforced changes) only. After QM, trend is added back.

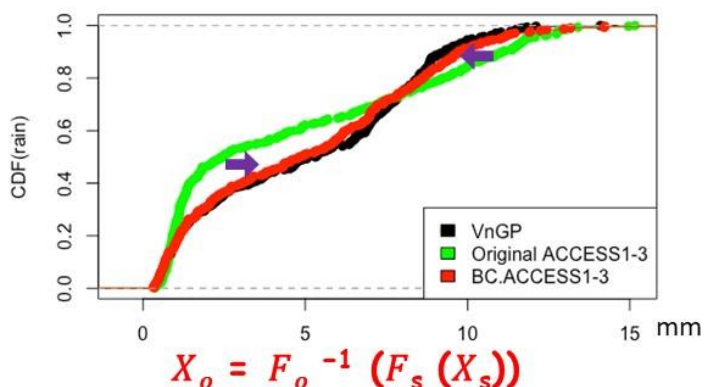
Since trend of (future) temperature is sensitive, detrend before QM is necessary to retain the temperature trend in downscaled data.



Trade off: Quality of outputs are much more depend on the quality of GCMs

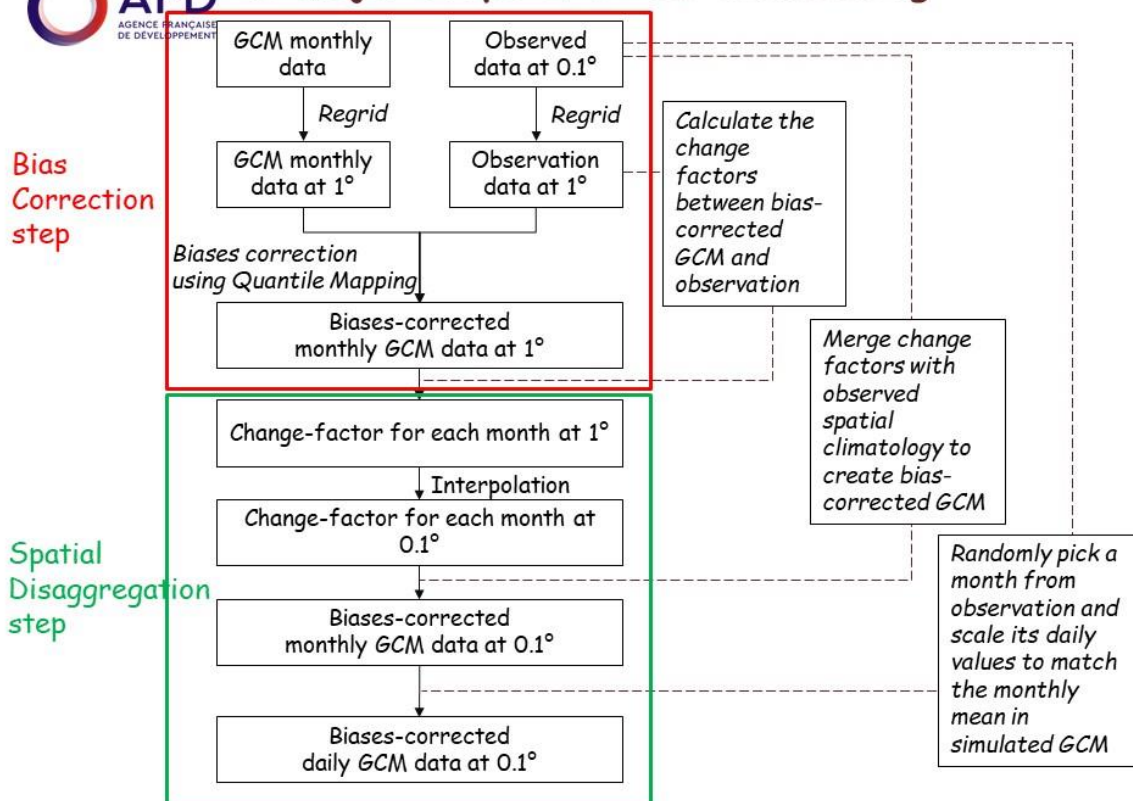
Biases-Correction using Quantile Mapping

Monthly Precipitation Comparison between
VnGP, CMIP5 models, and Biased Corrected CMIP5 models
Probability Distribution of Rainfall 1980-2005



X_o and X_s : bias corrected and simulated data
 $F_s()$ and $F_o^{-1}()$: CDFs of simulated data and the inverse CDF of the observed data

The major steps of BCSD downscaling

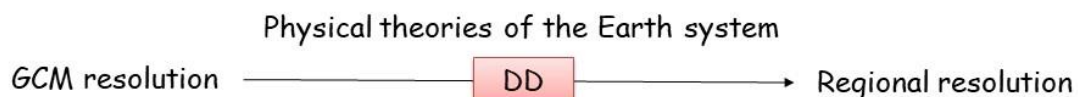


(2) Biases Corrected Spatial Disaggregation (BCSD) Downscaling Method

- When conditions are met, quality of BCSD downscaling is comparable to any state-of-the-art DD (Wood et al, 2007)
- The process of BCSD includes two major steps:
 - **BC - Biases Correction:** Using Quantile mapping, fit the cumulative distribution function (CDF) of observation data to the CDF of simulated data.
 - **SD - Spatial Disaggregation:** Spatially translates the bias-corrected future model simulations from the coarse-scale to the targeted fine-scale

Downscaling approaches

(*) Dynamical Downscaling method (DD) method:

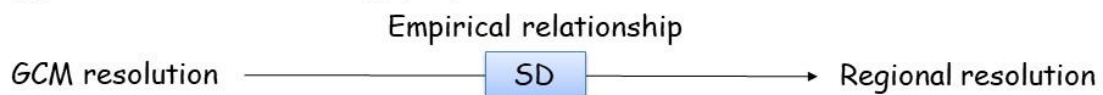


Physically consistent in time and space, Physical principals

Heavy computational load, time consuming

Skamarock et al (2008); Storch et al (2000), etc.

(*) Statistical Downscaling (SD) method:

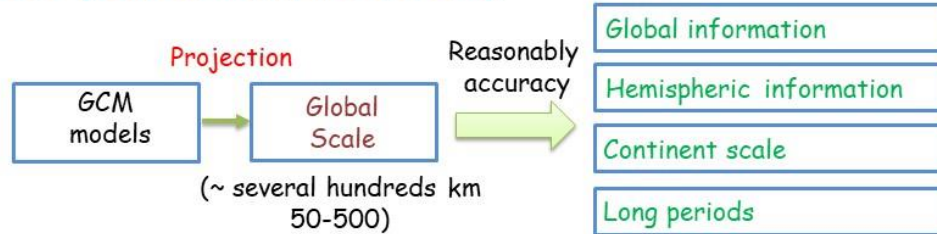


Fast, Flexible

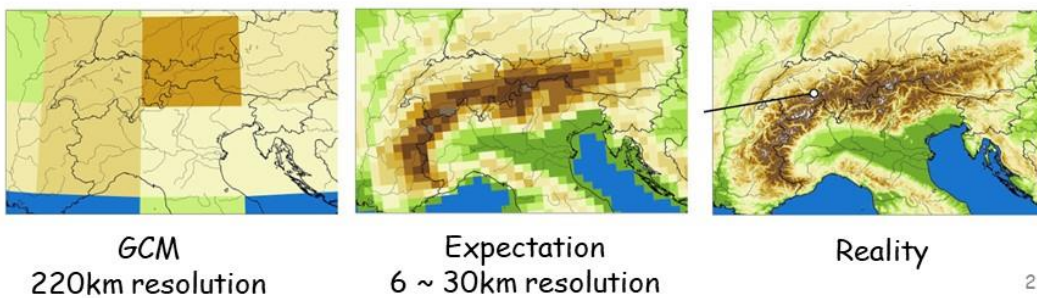
Unstable, many uncertainties (quality of biases correction method, long historical record is required, etc.)

Grigory et al (2018); La Flamme et al (2016), etc

• **GCM (Global Climate Model)**



- Coarse, spatial projection is too smooth
- Too large for researching the regional scale

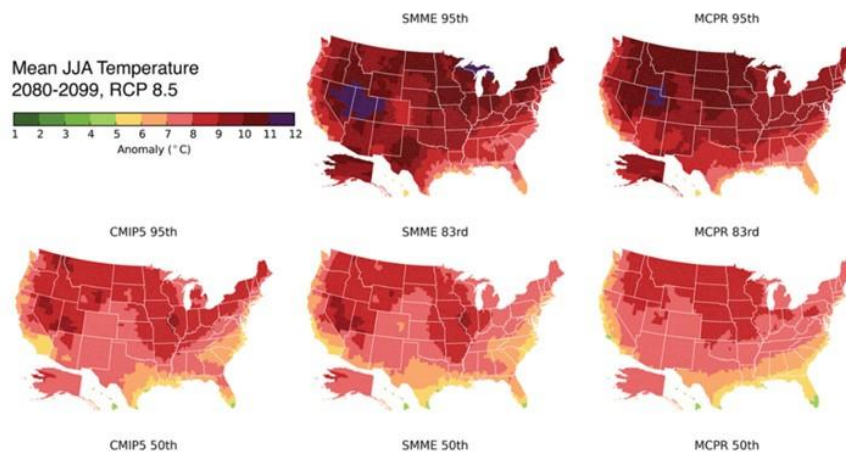


Building High-resolution Future Climate Scenarios in Vietnam using the Bias Corrected Spatial Disaggregation (BCSD) Downscaling Approach

Quan Tran-Anh, Thanh Ngo-Duc, Etienne Espagne, Long Tuan-Trinh

Dec, 2020

- Probability-weighted climate ensemble models for Vietnam
- Update BCSD downscaling with CMIP6 and extended historical data



Surrogate Mixed Model Ensemble (SMME) by Rasmussen et al. 2016

2. Chương trình BCSD để xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu

Dữ liệu GSMaP được download từ website hokusai.eorc.jaxa.jp của TRMM Real-Time Office Earth Observation Research Center được định dạng NetCDF. NetCDF là định dạng dữ liệu ô lưới rất phổ biến trong lĩnh vực khoa học vũ trụ và trái đất. Dữ liệu GSMaP của JAXA được cung cấp theo ngày nên đối với việc download và sử dụng dữ liệu sẽ rất bất tiện cho những người cần sử dụng khối lượng lớn dữ liệu. Bên cạnh đó, để có thể sử dụng GSMaP data cần phải tạo file mô tả cho dữ liệu trước khi sử dụng (control file – ctl). Chương trình DOWNLOAD GSMAP RAINFALL PROGRAM được tác giả viết ra nhằm đơn giản quá trình download và định dạng file dữ liệu. Chương trình được chạy thử nghiệm thành công trên hầu hết các nền tảng cơ bản:

- Windows với Cgywin đã được cài sẵn
- Linux
- Mac OS

Chương trình viết trên Shell cript.

2.1. Control program

```
#!/bin/bash

#####

#####

#       DOWNLOAD GSMAP RAINFALL PROGRAM           #
#       Tran Anh Quan                            #
#       Sep, 2019                                #
#####

#####

# This program created to download Gsmap Satellite Precipitation Data
- Algorithmn Version 6

# Set the target of data

# datatype=1 for daily data GSMap_MKV from 2001 to 2019 (update
daily), standard data, 3-day data latency

# datatype=2 for daily data GSMap_Gauge_RNL from 2001 to 2019
(update daily), reanalysis data with gauged calibration

# datatype=3 for daily data GSMap_Gauge_RNL revised from 2001 to
2019 (update daily), revised reanalysis data with gauged calibration

# datatype=4 for hourly data GSMap_MKV from 2001 to 2019 (update
daily), standard data, 3-day data latency

# datatype=5 for hourly data GSMap_Gauge_RNL from 2001 to 2019
(update daily), reanalysis data with gauged calibration

# datatype=6 for hourly data GSMap_Gauge_RNL revised from 2001
to 2019 (update daily), revised reanalysis data with gauged calibration

makectl=0           #Set 0 to begin download data, after download data,
set 1 to make ctl file

datatype=6           #Set datatype
```

```

yrbgn=2002      #Set year begin
yrend=2005     #Set year end
monbgn=1       #Set month begin
monend=12      #Set month end
daybgn=1       #Set day begin
dayend=31      #Set day end

if [ $makectl -eq 0 -a $datatype -le 3 ];then
    sed -e 's/datatype/$datatype/g' -e 's/iyrbgn/$yrbgn/g' -e
's/iyrend/$yrend/g' -e 's/imonbgn/$monbgn/g' -e 's/imonend/$monend/g'
daily_gsmmap.sh > tmp_daily_gsmmap.sh
    sh tmp_daily_gsmmap.sh
    mv *.gz OUT/
    gunzip OUT/*.gz

elif [ $makectl -eq 0 -a $datatype -ge 4 -a $datatype -le 6 ];then
    sed -e 's/datatype/$datatype/g' -e 's/iyrbgn/$yrbgn/g' -e
's/iyrend/$yrend/g' -e 's/imonbgn/$monbgn/g' -e 's/imonend/$monend/g' -e
's/daybgn/$daybgn/g' -e 's/dayend/$dayend/g' hourly_gsmmap.sh >
tmp_hourly_gsmmap.sh
    sh tmp_hourly_gsmmap.sh
    mv *.gz OUT/
    gunzip OUT/*.gz

elif [ $makectl -eq 1 ];then
    sed -e '17,24s/datatype/$datatype/g' -e '17,24s/iyrbgn/$yrbgn/g'
-e '17,24s/iyrend/$yrend/g' -e '17,24s/imonbgn/$monbgn/g' -e
'17,24s/imonend/$monend/g' -e '17,24s/daybgn/$daybgn/g' -e
'17,24s/dayend/$dayend/g' makectl.sh > tmp_makectl.sh
    sh tmp_makectl.sh

```

```
mv *.ctl OUT/

fi

echo $datatype

rm -rf tmp*
```

2.2. Main download program

```
#!/bin/bash

url=ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/daily

#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/daily/0
0Z-23Z/200501/gsmmap_rnl.20050102.0.1d.daily.00Z-23Z.v6.5133.0.dat.gz

#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/daily_G
/00Z-23Z/200003/gsmmap_gauge_rnl.20000301.0.1d.daily.00Z-
23Z.v6.5133.0.dat.gz

#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/daily_G
rev/00Z-23Z/200003/gsmmap_gauge_rnl.20000301.0.1d.daily.00Z-
23Z.v6.rev.0.dat.gz

#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/hourly/
2001/01/01/gsmmap_rnl.20010101.0000.v6.5133.0.dat.gz

#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/hourly_
G/2001/01/01/gsmmap_gauge_rnl.20010101.0000.v6.5133.0.dat.gz

#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/hourly_
Grev/2000/06/04/gsmmap_gauge_rnl.20000604.0300.v6.rev.0.dat.gz

datatype=idatatype
yrbgn=iyrbgn
yrend=iyrend
monbgn=imonbgn
monend=imonend
```

```
while [ $yrbgn -le $yrend ];do
```

```
while [ $monbgn -le $monend ];do
```

```
  if [ $monbgn -le 9 ];then
```

```
    monbgn=`expr 0$monbgn`
```

```
  fi
```

```
  daybgn=1
```

```
  if [ $monbgn -eq 1 ];then daymax=31;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 2 ];then daymax=28;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 3 ];then daymax=31;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 4 ];then daymax=30;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 5 ];then daymax=31;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 6 ];then daymax=30;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 7 ];then daymax=31;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 8 ];then daymax=31;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 9 ];then daymax=30;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 10 ];then daymax=31;
```

```
    elif [ $monbgn -eq 11 ];then daymax=30;
```

```
    else daymax=31;
```

```
  fi
```

```
while [ $daybgn -le $daymax ];do
```

```
  if [ $daybgn -le 9 ];then
```

```
    daybgn=`expr 0$daybgn`
```

```
  fi
```

```

        if [ $datatype -eq 1 ];then
            wget                                $url/00Z-
23Z/$yrbgn$monbgn/gsmap_rnl.$yrbgn$monbgn$daybgn\0.1d.daily.00Z-
23Z.v6.5133.0.dat.gz
            elif [ $datatype -eq 2 ];then
            wget                                $url\_G/00Z-
23Z/$yrbgn$monbgn/gsmap_gauge_rnl.$yrbgn$monbgn$daybgn\0.1d.daily.
00Z-23Z.v6.5133.0.dat.gz
            elif [ $datatype -eq 3 ];then
            wget                                $url\_Grev/00Z-
23Z/$yrbgn$monbgn/gsmap_gauge_rnl.$yrbgn$monbgn$daybgn\0.1d.daily.
00Z-23Z.v6.rev.0.dat.gz
        fi
        daybgn=`expr $daybgn + 1`
    done
    monbgn=`expr $monbgn + 1`
done

yrbgn=`expr $yrbgn + 1`
done

```

2.3. Daily precipitation download

```

#!/bin/bash
url=ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/hour
ly
#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/daily/0
0Z-23Z/200501/gsmap_rnl.20050102.0.1d.daily.00Z-23Z.v6.5133.0.dat.gz

```

```
#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/daily_G  
/00Z-23Z/200003/gsmmap_gauge_rnl.20000301.0.1d.daily.00Z-  
23Z.v6.5133.0.dat.gz
```

```
#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/daily_G  
rev/00Z-23Z/200003/gsmmap_gauge_rnl.20000301.0.1d.daily.00Z-  
23Z.v6.rev.0.dat.gz
```

```
#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/hourly/  
2001/01/01/gsmmap_rnl.20010101.0000.v6.5133.0.dat.gz
```

```
#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/hourly_  
G/2001/01/01/gsmmap_gauge_rnl.20010101.0000.v6.5133.0.dat.gz
```

```
#ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/standard/v6/hourly_  
Grev/2000/06/04/gsmmap_gauge_rnl.20000604.0300.v6.rev.0.dat.gz
```

```
datatype=idatatype
```

```
yrbgn=iyrbgn
```

```
yrend=iyrend
```

```
monbgn=imonbgn
```

```
monend=imonend
```

```
daybgn=idaybgn
```

```
dayend=idayend
```

```
while [ $yrbgn -le $yrend ];do
```

```
while [ $monbgn -le $monend ];do
```

```
    if [ $monbgn -le 9 ];then
```

```
        monbgn=`expr 0$monbgn`
```

```
    fi
```

```
    daybgn=idaybgn
```

```

if [ $monbgn -eq 1 ];then daymax=31;
    elif [ $monbgn -eq 2 ];then daymax=28;
    elif [ $monbgn -eq 3 ];then daymax=31;
    elif [ $monbgn -eq 4 ];then daymax=30;
    elif [ $monbgn -eq 5 ];then daymax=31;
    elif [ $monbgn -eq 6 ];then daymax=30;
    elif [ $monbgn -eq 7 ];then daymax=31;
    elif [ $monbgn -eq 8 ];then daymax=31;
    elif [ $monbgn -eq 9 ];then daymax=30;
    elif [ $monbgn -eq 10 ];then daymax=31;
    elif [ $monbgn -eq 11 ];then daymax=30;
    else daymax=31;
fi

```

```

if [ $dayend -lt 31 ];then
    daymax=$dayend;
fi

```

```

while [ $daybgn -le $daymax ];do
    if [ $daybgn -le 9 ];then
        daybgn=`expr 0$daybgn`
    fi

    hrbgn=0
    hrend=23
    while [ $hrbgn -le $hrend ];do
        if [ $hrbgn -le 9 ];then
            hrbgn=`expr 0$hrbgn`
        fi

```



```

        if [ $datatype -eq 4 ];then
            wget
            $url/$yrbgn/$monbgn/$daybgn/gsmmap_rnl.$yrbgn$monbgn$daybgn\.$hrbgn\
            00.v6.5133.0.dat.gz
            elif [ $datatype -eq 5 ];then
                wget
                $url\_G/$yrbgn/$monbgn/$daybgn/gsmmap_gauge_rnl.$yrbgn$monbgn$daybgn\
                n\.$hrbgn\00.v6.5133.0.dat.gz
                elif [ $datatype -eq 6 ];then
                    wget
                    $url\_Grev/$yrbgn/$monbgn/$daybgn/gsmmap_gauge_rnl.$yrbgn$monbgn$da
                    ybgn\.$hrbgn\00.v6.rev.0.dat.gz
                fi
                hrbgn=`expr $hrbgn + 1`
            done
            daybgn=`expr $daybgn + 1`
        done
        monbgn=`expr $monbgn + 1`
    done

    yrbgn=`expr $yrbgn + 1`
done

```

2.4 Chương trình tạo file mô tả cho dữ liệu (control file)

```

#!/bin/bash
#####
#          DOWNLOAD GSMAP RAINFALL PROGRAM          #
#          Tran Anh Quan                          #

```

```

#                               Sep, 2019                               #
#####

# This program created to download Gsmap Satelite Precipitation Data
- Algorithymn Version 6
# Set the target of data
# datatype=1 for daily data GSMap_MKV from 2001 to 2019 (update
daily), standard data, 3-day data latency
# datatype=2 for daily data GSMap_Gauge_RNL from 2001 to 2019
(update daily), reanalysis data with gauged calibration
# datatype=3 for daily data GSMap_Gauge_RNL revised from 2001 to
2019 (update daily), revised reanalysis data with gauged calibration
# datatype=4 for hourly data GSMap_MKV from 2001 to 2019 (update
daily), standard data, 3-day data latency
# datatype=5 for hourly data GSMap_Gauge_RNL from 2001 to 2019
(update daily), reanalysis data with gauged calibration
# datatype=6 for hourly data GSMap_Gauge_RNL revised from 2001
to 2019 (update daily), revised reanalysis data with gauged calibration

datatype=idatatype      #Set datatype

yrbgn=iyrbgn           #Set year begin
yrend=iyrend           #Set year end
monbgn=imonbgn         #Set month begin
monend=imonend         #Set month end
daybgn=idaybgn         #Set day begin
dayend=idaybgn         #Set day end

if [ $monbgn -eq 1 ];then monname=jan
      elif [ $monbgn -eq 2 ];then monname=feb

```

```
elif [ $monbgn -eq 3 ];then monname=mar
elif [ $monbgn -eq 4 ];then monname=apr
elif [ $monbgn -eq 5 ];then monname=may
elif [ $monbgn -eq 6 ];then monname=jun
elif [ $monbgn -eq 7 ];then monname=jul
elif [ $monbgn -eq 8 ];then monname=aug
elif [ $monbgn -eq 9 ];then monname=sep
elif [ $monbgn -eq 10 ];then monname=oct
elif [ $monbgn -eq 11 ];then monname=nov
else monname=dec;
```

```
fi
```

```
if [ $daybgn -le 9 ];then
    daybgn=`expr 0$daybgn`
```

```
fi
```

```
if [ $dayend -le 9 ];then
    dayend=`expr 0$dayend`
```

```
fi
```

```
if [ $monbgn -le 9 ];then
    monbgn=`expr 0$monbgn`
```

```
fi
```

```
if [ $monend -le 9 ];then
    monend=`expr 0$monend`
```

```
fi
```

```
if [ $datatype -eq 1 ];then
```

```

        sed -e 's/idaybgn/$daybgn/g' -e 's/imonbgn/$monname/g' -e
's/iyrbgn/$yrbgn/g'                               makectl.daily.org >
Gsmmap_RNL.daily.v6.$yrbgn$monbgn$daybgn\-$yrend$monend$dayend\.ctl
        elif [ $datatype -eq 2 ];then
        sed -e 's/gsmmap_rnl/gsmmap_gauge_rnl/g' -e 's/idaybgn/$daybgn/g'
-e 's/imonbgn/$monname/g' -e 's/iyrbgn/$yrbgn/g' makectl.daily.org >
Gsmmap_RNL_gauge.daily.v6.$yrbgn$monbgn$daybgn\-$
$yrend$monend$dayend\.ctl
        elif [ $datatype -eq 3 ];then
        sed -e 's/gsmmap_rnl/gsmmap_gauge_rnl/g' -e 's/5133/rev/g' -e
's/idaybgn/$daybgn/g' -e 's/imonbgn/$monname/g' -e 's/iyrbgn/$yrbgn/g'
makectl.daily.org > Gsmmap_RNL_gauge.daily.v6.$yrbgn$monbgn$daybgn\-$
$yrend$monend$dayend\.ctl
        elif [ $datatype -eq 4 ];then
        sed -e 's/idaybgn/$daybgn/g' -e 's/imonbgn/$monname/g' -e
's/iyrbgn/$yrbgn/g'                               makectl.hourly.org >
Gsmmap_RNL.hourly.v6.$yrbgn$monbgn$daybgn\-$
$yrend$monend$dayend\.ctl
        elif [ $datatype -eq 5 ];then
        sed -e 's/gsmmap_rnl/gsmmap_gauge_rnl/g' -e 's/idaybgn/$daybgn/g'
-e 's/imonbgn/$monname/g' -e 's/iyrbgn/$yrbgn/g' makectl.hourly.org >
Gsmmap_RNL_gauge.hourly.v6.$yrbgn$monbgn$daybgn\-$
$yrend$monend$dayend\.ctl
        elif [ $datatype -eq 6 ];then
        sed -e 's/gsmmap_rnl/gsmmap_gauge_rnl/g' -e 's/5133/rev/g' -e
's/idaybgn/$daybgn/g' -e 's/imonbgn/$monname/g' -e 's/iyrbgn/$yrbgn/g'
makectl.hourly.org >
Gsmmap_RNL_gauge.hourly.v6.$yrbgn$monbgn$daybgn\-$
$yrend$monend$dayend\.ctl

```

fi

2.5. Cấu trúc file mô tả cho dữ liệu dữ liệu khí hậu được xây dựng

```
DSET ^gsmmap_rnl.%y4%m2%d2.0.1d.daily.00Z-23Z.v6.5133.0.dat
TITLE GSMaP_RNL v6.5133 0.1deg Daily (00:00Z-23:59Z)
UNDEF -999.9
OPTIONS YREV LITTLE_ENDIAN TEMPLATE
XDEF 3600 LINEAR 0.05 0.1
YDEF 1200 LINEAR -59.95 0.1
zdef 1 levels 1013
tdef 3650 linear 00:00zidaybgnimonbgniyrbgn 1dy
VARS 1
precip      0 99 daily averaged precip(mm/hr)
ENDVARS
```

2.6. Cấu trúc file mô tả cho dữ liệu quan trắc môi trường

```
*
* GrADS control file for GSMaP_MVK Hourly Rain Rate (ver.6).
*
* Negative value indicates missing due to following reason.
*   -4: missing due to sea ice in microwave retrieval
*   -8: missing due to low temperature in microwave retrieval
*   -99: missing due to no observation by IR and/or microwave
*
DSET ^gsmmap_rnl.%y4%m2%d2.%h200.v6.5133.0.dat
TITLE GSMaP_RNL 0.1deg Hourly (ver.6)
OPTIONS YREV LITTLE_ENDIAN TEMPLATE
UNDEF -99.0
XDEF 3600 LINEAR 0.05 0.1
```

```
YDEF 1200 LINEAR -59.95 0.1
ZDEF 1 LEVELS 1013
TDEF 87600 LINEAR 00Zidaybgnimonbgniyrbgn 1hr
VARS 1
precip 0 99 hourly averaged rain rate [mm/hr]
ENDVARS
```

2.7 Readme (nguyên bản Tiếng Anh của Tác giả)

Copyright to Tran Anh Quan, Sep-2019

This program download precipitation data from GSmap dataset, algorithm version 6.

Type of data can be downloaded include

- Standard satellite precipitation data GSMap_MKV V6 from 2001 to present, update daily, 3-day data latency
- Daily data GSMap_Gauge_RNL from 2001 to 2019 (update daily), reanalysis data with gauged calibration
- Daily data GSMap_Gauge_RNL revised from 2001 to 2019 (update daily), revised reanalysis data with gauged calibration
- Hourly data GSMap_MKV from 2001 to 2019 (update daily), standard data, 3-day data latency
- Hourly data GSMap_Gauge_RNL from 2001 to 2019 (update daily), reanalysis data with gauged calibration
- Hourly data GSMap_Gauge_RNL revised from 2001 to 2019 (update daily), revised reanalysis data with gauged calibration

Self description file will be created automatically for each download

IMPORTANT NOTES:

- For daily data:

+ For multiple years data download, month begin should be set at JAN, month end should be set a DEC, day begin set at 1 and dayend must be set at 31. If not, just of subset of the data will be download for each and every year of the time series.

+ For multiple months data download, year begin and year end should be similar, day begin set at 1 and dayend must be set at 31. If not, just the same target months of each year will be downloaded.

+ If target time series not cover full years but begin from the middle of this year to the middle of the other year, users should break the download sequence to shorter download within a year. Output can be merge with another control file for binary data.

- For hourly data:

+ Hourly data should be download within a year. Multiple year can be downloaded but it is easier to manage the output files with single year download.

+ Remember to set the same year begin and year end if you download the data for several months and days

+ Remember to set the same year begin and year end, same number of month begin and month end if you download the data for several days.

USAGE

- set the target data series in the "download_gsmmap.sh" from line 17 to 25

- save the changes made in "download_gsmmap.sh"

sh download_gsmmap.sh

output will be available in OUT folder

The self description file is also put in the OUT folder

3. Sản phẩm ứng dụng kịch bản biến đổi khí hậu độ phân giải cao

Đặt vấn đề

Trong khá nhiều công trình nghiên cứu giải quyết nhằm góp phần giảm nhẹ những hậu quả do thiên tai lũ lụt gây ra, hướng tích cực nhất là nâng cao hiệu quả của công tác cảnh báo và dự báo lũ, từ đó đề ra những biện pháp thích hợp để phòng, tránh. Các phương pháp dự báo truyền thống trước đây như phương pháp lưu lượng mực nước tương ứng [1] hay sử dụng các mô hình tương quan [2] và mô hình thông số tập trung [3 - 5] đã mang lại những hiệu quả tích cực. Hiện nay, việc diễn toán dòng chảy từ trạm thủy văn đầu nguồn về hạ lưu ở Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương khá chính xác, đạt độ đảm bảo tương đối tốt. Tuy nhiên, thực tế thường gặp phải hai vấn đề lớn làm cho công tác dự báo lũ vẫn chưa đáp ứng được bài toán thực tiễn. Đó là: (1) do các sông ở khu vực này thường ngắn và dốc, thời gian tập trung nước nhanh nên việc phát các bản tin dự báo dựa trên số liệu quan trắc mưa và lưu lượng tuyến trên thường có thời gian dự kiến ngắn, không đủ để triển khai các biện pháp phòng chống thích hợp và (2) do chưa sử dụng các mô hình thông số dải, có khả năng diễn toán dòng chảy tốt hơn [6].

Trong lĩnh vực tính toán và dự báo thủy văn, một vấn đề thường gặp là số liệu quan trắc hoặc thiếu, hoặc không đầy đủ. Các phương pháp kéo dài số liệu bằng các mô hình toán [7, 8] vẫn thường được sử dụng để bổ khuyết số liệu. Một biện pháp hữu hiệu để tăng nguồn số liệu đồng thời tăng khả năng dự kiến của bản tin dự báo là kết nối các mô hình thủy văn và khí tượng [9] và sử dụng số liệu vệ tinh, viễn thám [10].

Tại tiểu vùng sông Mê Công, mưa là một nhân tố đóng vai trò chủ đạo trong việc hình thành dòng chảy. Do đó, việc khai thác thông tin mưa đóng vai trò quan trọng đến chất lượng của các bản tin dự báo.

Hiện nay, tại RFMMC (*Regional Flood Mitigation and Management Center*) đã, đang và sẽ nâng cấp, bổ sung nhiều hơn nữa những trạm đo khí tượng, thủy văn phục vụ dự báo tác nghiệp lưu vực sông Mê Công. Tuy nhiên, có nhiều vị trí vì có địa hình phức tạp (đồi núi cao, heo hút...) và một số lý do khác dẫn tới việc không thể đặt được trạm đo. Trong khi mưa ở các

khu vực này lại góp phần không nhỏ vào quá trình hình thành dòng chảy cho dòng chính. Khi đó, việc khai thác các sản phẩm mưa từ vệ tinh mang ý nghĩa cực kỳ to lớn, đặc biệt cho bài toán dự báo lũ. Nhiệm vụ đặt ra ở đây là làm thế nào để khai thác được nguồn số liệu quý báu này?. Với chức năng dự báo, cảnh báo nhằm quản lý và giảm thiểu tác hại do lũ gây ra trên lưu vực sông Mê Công, RFMMC đang sử dụng một hệ thống công cụ dự báo tác nghiệp hoàn thiện nhằm khai thác, sử dụng mưa từ các nguồn mưa vệ tinh làm đầu đầu vào cho mô hình thủy văn, thủy lực và ra các bản tin dự báo với thời gian dự kiến khác nhau trên toàn bộ lưu vực chính xác và kịp thời. Bài báo này giới thiệu một công cụ (phần mềm) khai thác mưa GFAS (*Global Forecast Alert System*) từ nguồn vệ tinh của NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) làm đầu vào cho mô hình toán nhằm mô phỏng và dự báo dòng chảy trên sông Mê Công.

2. Số liệu mưa vệ tinh trong dự báo lũ sông Mê Công

Sự phát triển mạnh mẽ của GIS giúp cho việc khai thác các số liệu từ vệ tinh như mưa trở nên linh hoạt và đơn giản hơn. Thực tế cho thấy, những năm gần đây, Ủy hội quốc tế sông Mê Công không ngừng phát triển và đã sử dụng số liệu mưa vệ tinh vào công tác dự báo và đã cho kết quả dự báo có độ chính xác tốt hơn. Sản phẩm của số liệu vệ tinh được sử dụng tại RFMMC hầu hết được khai thác từ hệ thống vệ tinh khí tượng kết hợp bởi hai dạng chính đó là vệ tinh địa tĩnh và vệ tinh quỹ đạo của NOAA, NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) và JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*). Dưới đây, giới thiệu tổng quát một số nguồn dữ liệu đang được áp dụng trong hệ thống dự báo, cảnh báo lũ sông Mê Công.

2.1. Nguồn số liệu SRE (*Satellite Rainfall Estimate*)

Số liệu của SRE được thu nhận từ NOAA, sản phẩm được kết hợp từ hai hệ thống vệ tinh địa tĩnh và vệ tinh quỹ đạo với lưới phân giải 10x10 km. Dữ liệu SRE có cấu trúc dữ liệu dạng raster, được biểu diễn bằng các phần mềm GIS thông dụng như ArcGIS (Hình 1), ArcView.

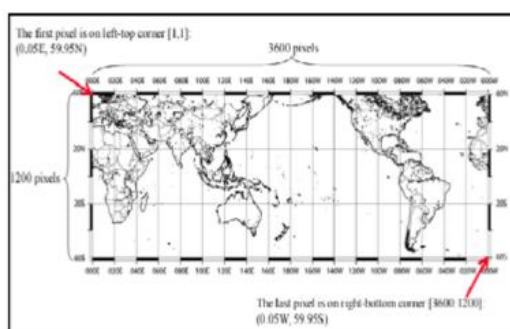
2.2. Nguồn số liệu GFAS (*Global Forecast Alert System*)

Sự ra đời hệ thống cảnh báo lũ toàn cầu là một nỗ lực nhằm sử dụng lượng mưa ước lượng từ vệ tinh toàn cầu trong việc dự báo và cảnh báo lũ.

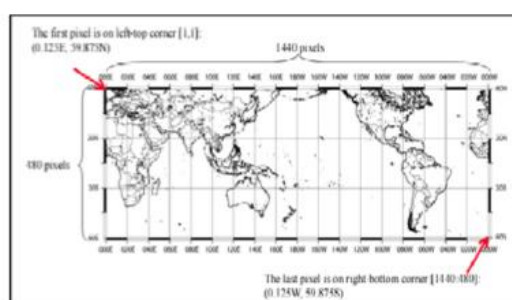
GFAS được sáng lập bởi MLIT (*Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Japan*) và JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*). GFAS là sản phẩm chuyển đổi lượng mưa vệ tinh ước tính từ sản phẩm của NASA. Hệ thống này hiện nay được chạy thử nghiệm và được đăng tải trên website của hệ thống lũ quốc tế IFNet (*International Flood Network*).

2.3. Nguồn số liệu GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation)

Bản đồ mưa vệ tinh toàn cầu – GSMaP là một dự án nhằm thúc đẩy việc nghiên cứu “Thành lập bản đồ mưa toàn cầu độ phân giải cao bằng cách sử dụng số liệu vệ tinh” được tài trợ bởi JSTA (*Japan Science and Technology Agency*), các hoạt động của dự án nhằm xác định lượng mưa từ vệ tinh được tiến hành bởi JAXA. GSMaP có hai sản phẩm bản đồ mưa với độ phân giải 0.1×0.1 độ kinh/vĩ độ (Hình 3) và 0.25×0.25 độ kinh/vĩ độ (Hình 4).



Hình 3. Số liệu GSMaP với độ phân giải 0.1×0.1 độ kinh/vĩ độ.



Hình 4. Số liệu GSMaP với độ phân giải 0.25×0.25 độ kinh/vĩ độ.

2.4. Nguồn số liệu TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)

TRMM được bắt đầu hoạt động từ ngày 27 tháng 11 năm 1997 với mục tiêu thu thập dữ liệu về sự di chuyển giữa nhiệt và hơi nước của đại dương và khí quyển. TRMM thuộc dự án của NASA, đo đặc lượng mưa vùng nhiệt

đới và cận nhiệt đới của Trái Đất, cung cấp dữ liệu dùng cho thử nghiệm các mô hình khí hậu. TRMM được trang bị ba công cụ chính, trong đó mới nhất là radar đo lượng mưa thiết kế để cung cấp bản đồ 3D về cấu trúc bão do JAXA (tham khảo tại <http://trmm.gsfc.nasa.gov>)

4. Kết luận

Từ những kết quả nghiên cứu trên đây có thể rút ra một số kết luận như sau:

Sản phẩm mưa vệ tinh GSMaP nhìn chung nắm bắt được các dao động theo mùa của lượng mưa quan trắc được tại trạm mặt đất, ngoại trừ một số trạm ven biển miền Trung Việt Nam.

GSMaP đã chỉ ra được các vùng mưa lớn như Bắc Quang (Hà Giang), Thừa Thiên Huế và các vùng mưa nhỏ ở Móng Cái (Quảng Ninh), vùng mưa ở khu vực Tây Nguyên. Bên cạnh đó, GSMaP chưa bắt được tâm mưa ở Phong Thổ (Lai Châu), SaPa (Lào Cai) và Cà Mau, các tâm mưa thuộc vùng núi Tây Bắc Bộ.

GSMaP biểu diễn mưa tốt ở một số khu vực như Đông Bắc, Đồng Bằng Bắc Bộ, Tây Nguyên nhưng lại cho ước lượng lượng mưa thấp. Khả năng biểu diễn của GSMaP chưa tốt ở các tỉnh ven biển miền Trung và khu vực Tây Bắc Bộ, đặc biệt, từ hệ số biến thiên lượng mưa năm cũng cho thấy có sự biến đổi lượng mưa bất đồng nhất ở khu vực Tây Bắc và ven biển miền Trung .

GSMaP cho thấy khả năng nắm bắt được biến trình mưa theo mùa và sự dịch chuyển mưa theo vĩ độ, biến trình mưa, xu thế lượng mưa trên bảy vùng khí hậu khá tốt. Tuy nhiên, GSMaP lại chưa bắt tốt biến trình mưa, cũng như

tâm mưa lớn ở khu vực dọc ven biển miền Trung, xu thế lượng mưa ở khu vực Tây Bắc (BI).

Trong giai đoạn 2001 – 2007 trên GSMaP nắm bắt được biến trình mưa theo mùa ở hầu hết các kinh tuyến đã xét. Khi lấy vĩ tuyến 16°N phân chia ranh giới hai miền khí hậu Bắc-Nam dựa vào yếu tố địa hình là một phần dãy núi dãy Trường Sơn đâm ngang sát ra biển, GSMaP thể hiện được cực đại mưa ở Tây Nguyên và các tỉnh thuộc duyên hải Nam Trung Bộ. Tuy nhiên, trên GSMaP không thể hiện rõ được các tâm mưa lớn như ở khu vực Thừa ThiênHuế, thay vào đó lại là tâm mưa thuộc các tỉnh Bắc Bộ.

GSMaP cho thấy tác động của hiệu ứng địa hình trên sườn đón gió của dãy núi Trường Sơn chạy dọc theo biên giới phía Tây của Việt Nam. Tuy nhiên GSMaP cho lượng mưa ước lượng thấp hơn. Đặc biệt là GSMaP đánh giá thấp lượng mưa đáng kể trên vùng ven biển miền Trung Việt Nam tức là phía sườn đón gió phía đông của dãy Trường Sơn. Nên khi sử dụng sản phẩm mưa vệ tinh GSMaP cần đặc biệt chú ý đến dải ven biển miền Trung này.

GSMaP thể hiện rõ lượng mưa ngày lớn nhất, đặc biệt khu vực miền Trung, nhưng ước lượng lượng mưa ngày quá lớn ở một số tỉnh phía bắc. Khi xét trong trường hợp mưa lớn cụ thể thì khả năng GSMaP bắt được về biến trình mưa, tuy nhiên khi xem xét lượng thì GSMaP vẫn chưa thể hiện được tốt.

Như vậy, số liệu mưa vệ tinh GSMaP trên khu vực Việt Nam cũng như trên bảy vùng khí hậu có thể phục vụ tốt cho bài toán khí hậu, tuy nhiên khi sử dụng cần chú ý tới khu vực Tây Bắc, ven biển miền Trung hay khu vực chế độ thời tiết bị ảnh hưởng bởi yếu tố địa hình vì vậy cần có thêm nhiều nghiên cứu đưa ra những phương pháp khắc phục những hạn chế trên để có bộ số liệu mưa vệ tinh GSMaP hoàn chỉnh trên toàn Việt Nam.

5. Tài liệu tham khảo

Tiếng Việt

1. Bùi Minh Sơn, Phan Văn Tân (2009), “Thử nghiệm dự báo mưa lớn khu vực Nam Trung Bộ bằng mô hình MM5”, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Hà Nội. 4(580), 9-18

2. Bùi Thị Khánh Hòa, Ngô Đức Thành, Phan Văn Tân(2010),“Nghiên cứu đánh giá các nguồn số liệu khác nhau phục vụ cho bài toán định lượng mưa sử dụng số liệu ra đa tại Việt Nam”,Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 584, 31-41.
3. Ngô Đức Thành, Phan Văn Tân (2012), “Kiểm nghiệm phi tham số xu thế biến đổi của một số yếu tố khí tượng cho giai đoạn 1961-2007”,Tạp chí Khoa họcĐHQGHN, khoa học tự nhiên và công nghệ, 28, 129-135.
4. Nguyễn Đức Ngữ, Nguyễn Trọng Hiệu (1988), Khí hậu và Tài Nguyên Khí hậu Việt Nam, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
5. Nguyễn Khánh Vân (2012),“Vai trò của hình thái địa hình đối với mưa lớn ở vùng Bắc Trung Bộ và sự phân hóa giữa bắc và nam Đèo Ngang”Tạp chí Các khoa học về Trái Đất. 34(1), 38-46.
6. Nguyễn Mẫn (2015), “Phát triển mạng lưới quan trắc khí tượng thủy văn và giám sát biến đổi khí hậu”, Tạp chí Tài nguyên và Môi trường.
7. Nguyễn Thanh Sơn, Nguyễn Quốc Anh(2015)“Khai thác sử dụng số liệu mưa vệ tinh trong dự báo lũ lưu vực sông Mê Kông (từ Chiang Saen đến Strung Streng)”,Tạp chí Khoa học: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Tập 31, Số 3S (2015) 222-230.
8. Phùng Kiến Quốc (2013), Xây dựng chỉ tiêu xác định mưa và dòng cho trạm ra đa thời tiết Tam Kỳ, Luận văn thạc sĩ khoa học, Trường Đại Học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.
9. Tạ Văn Đa (2012),“Phương pháp đo mưa bằng ra đa thời tiết và một vài nhận xét về đo mưa bằng ra đa ở Việt Nam”, Hội thảo khoa học Quốc gia về Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biến đổi Khí hậu.
10. Trần Tân Tiến, Nguyễn Minh Trường, Công Thanh, Kiều Quốc Chánh(2004),“Sử dụng mô hình RAMS mô phỏng đợt mưa lớn ở Miền Trung tháng 9-2002”,Tạp chí Khoa học, ĐHQG Hà Nội, No3 PT, 51-60.
11. Trung tâm Quốc gia dự báo khí tượng thủy văn (2002),Đặc điểm khí tượng thủy văn năm 2001.
12. Vũ Thanh Hằng, Chu Thị Hường, Phan Văn Tân (2009), “Xu thế biến đổi của lượng mưa ngày cực đại ở Việt Nam giai đoạn 1961-2007”, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, khoa học tự nhiên và công nghệ, 25, số 3S, 423-430.

Tiếng Anh

13. Adeyewa, Z.D., Nakamura, K. (2003), "Validation of TRMM Radar Rainfall Data over Major Climatic Regions in Africa", *J. Appl. Meteor.*, 42:331-347.
14. Bell, T. L., Kundu. P. K. (2014), "Comparing satellite rainfall estimates with rain gauge data: Optimal strategies suggested by a spectral model", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol 108.
15. Chen, T.-C., J.-D. Tsay, M.-C. Yen, and J. Matsumoto (2012a), "Interannual variation of the late fall rainfall in central Vietnam" *J. Climate*, 25, 392–413.
16. Duo, C., Tundrop, P., Ghancan, N., Bajracharya, S., Shrestha, M., Jianping, G (2011), "Validation of the Satellite-Derived Rainfall Estimates over the Tibet", *Acta Meteor. Sinica*, 25(6):734-741.
17. Hijmans, R.J., Cameron, S.E, Parra, J. L, Jones, P. G and Jarvis, A. (2005), "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978.
18. Ebert, E. E., J. E. Janowiak, and C. Kidd, (2007), "Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models" *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 47–64
19. Ebert, E. E., M. J. Manton, P. A. Arkin, R. J. Allam, G. E. Holpin, and A. Gruber. (1996), "Results from the GPCP algorithm intercomparison programme", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 77, 2875–2887.
20. Endo. N and et al, (2009), "Trends in Precipitation Extremes over Southeast Asia", *SOLA*, 168-171.
21. Gottschalck, J., J. Meng, M. Rodell, and P. Houser, (2005), "Analysis of multiple precipitation products and preliminary assessment of their impact on Global Land Data Assimilation System land surface states", *J. Hydrometeor.*, 6, 573–598
22. Harris, A., Rahman, S., Hossain, F., Yarborough, L., Bagtzoglou, A.C., Easson, G. (2007), "Satellite based Flood Modeling Using TRMM-based Rainfall Product", *Sensors*, 7:3416-3427
23. Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie, (2004), "CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive

- microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution”, *J. Hydrometeor.*, 5, 487–503.
24. Kubota, T., S. Shige, H. Hashizume, K. Aonashi, N. Takahashi, S. Seto, M. Hirose, Y. Takayabu, K. Nakagawa, K. Iwanami, T. Ushio, M. Kachi, and K. Okamoto, (2007), “Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 45, 2259–2275.
 25. Kubota, T., T. Ushio, S. Shige, S. Kida, M. Kachi, and K. Okamoto, (2009), “Verification of high-resolution satellite-based rainfall estimates around Japan using gauge-calibrated ground-radar dataset. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87A, 203–222.
 26. Matsumoto, J., (1997), “Seasonal transition of summer rainy season over Indochina and adjacent monsoon region”, *Adv. Atmos. Sci.*, 14, 231–245.
 27. Mei, Y., Anagnostou, E. N., Nikolopoulos, E. I., Borga, M. (2014), “Error Analysis of Satellite Precipitation Products in Mountainous Basins”, *J. Hydrometeor.*, 15, 1778–1793.
 28. Mustafa, M. (2007), “Validation of Satellite-based Rainfall Estimation over the Limpopo Basin (MSc Thesis)”, Zimbabwe: University of Zimbabwe.
 29. Ngo-Duc T., J. Matsumoto, H. Kamimera, and H.-H. Bui, (2013), “Adjustment of the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) data over the Thu Bon-Vu Gia basin in Central Vietnam by using artificial neural networks”, *Hydrological Research Letters*, 7(4), 85-90.
 30. Okamoto, K., Shige, S., Kachi, M., Kubota, T., Ushio, T. (2011), “The Global Precipitation Map Produced by Spaceborn Microwave Radiometers and It’s Application-Overview of the GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation) Project”, *IEEE*, p. 4
 31. Okamoto, K., Iguchi, T., Takahashi, N., Ushio, T., Awaka, J., Kozu, T., Shige, S., Kubota, T. (2007), “High Precision and High Resolution Global Precipitation Map from Satellite Data”, *Proceedings of ISAP* (pp. 506-509). Niigata, Japan: IEICE.

32. Olson, W. S., (1989), "Physical retrieval of rainfall rates over the ocean by multispectral microwave radiometry: Application to tropical cyclones", *J. Geophys. Res.*, 94, 2267–2280.
33. Prakash, S., K. Mitra, A. Rajagopal, E. N. Pai, D. S. (2015), "Assessment of TRMM-based TMPA-3B42 và GSMaP precipitation products over India for the peak southwest monsoon season", *Int. J. Climatol.* Published online in Wiley Online Library. DOI: 10.1002/joc.4446
34. Sapiano, M. R. P., and P. A. Arkin, (2009), "An intercomparison and validation of high-resolution satellite precipitation estimates with 3-hourly gauge data", *J. Hydrometeorol.*, 10, 149–166.
35. Seto, S., Tsunekawa, T., Oki, T. (2012), "A new rain detection method to complement high-resolution global precipitation products", *Hydrological Research Letters*, 6: 82-86
36. Shige, S., S. Kida, H. Ashiwake, T. Kubota, and K. Aonashi, (2013), "Improvement of TMI rain retrievals in mountainous areas", *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, 242-254.
37. Simpson, J., C. Kummerow, W.-K. Tao, and R. F. Adler, (1996), "On the tropical rainfall measuring mission (TRMM)", *Meteor. Atmos. Phys.*, 60, 19–36.
38. Sorooshian, S., K.-L. Hsu, X. Gao, H. V. Gupta, B. Imam, and D. Braithwaite, (2000), "Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall", *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 2035–2046.