

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間： 2007 ~ 2009

課題番号：19540467

研究課題名 (和文) 長期再解析データによる人間活動を含めた陸域大気水循環の変動の評価

研究課題名 (英文) Assessing the changes in hydrological budget including anthropogenic effect estimated by the reanalyses and rain-gauge based precipitation data over Asia

研究代表者

谷田貝 亜紀代 (YATAGAI AKIYO)

総合地球環境学研究所・研究部・助教

研究者番号：60353447

研究成果の概要 (和文)：ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) の再解析 (ERA15, ERA40, ERA-interim)、米国気候予報センター (NCEP) 再解析、日本の再解析 (JRA25) を用いて、アジア地域の水蒸気収支を計算し、相互比較した。これらと代表者らが別課題で作成したアジアの精密な長期降水量データ (APHRODITE, Yatagai et al., 2009) により、水収支各項を定量的に評価した。実蒸発散量と予報値による蒸発散量を比較し、トルコ、インド、中央アジア、中国で、農業水利用等人為的な蒸発散量の増加を評価した。

研究成果の概要 (英文)：

With the benefit of the reanalysis datasets, the 25-50 years change in atmospheric hydrological budget should be clarified, and increase in evapotranspiration (Et) caused by the increase in agricultural water use may be identified. Analyses have been done on the interannual change of hydrological budget over Asia, by using meteorological reanalyses data and a rain-gauge based grid precipitation dataset developed by the APHRODITE project (Yatagai et al., 2009), in which more than 4 times rain-gauge data available through the global telecommunication system (GTS) network is used and orographic precipitation is taken into account. As for the reanalysis, we used ERA40 data compiled by the European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) and JRA25 compiled by Japan Meteorological Agency. As a result, increase in evapotranspiration (Et) estimated as a residual between moisture convergence and precipitation is found at the semi-arid regions of China, Central Asia, Turkey and India etc, where the progress of desertification is reported. For some of these regions, these facts derived from the reanalysis and precipitation are consistent with the local reports that agricultural water use (irrigation by using river water, ground water, dam water) has been increased.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成19年度	1,500,000	450,000	1,950,000
平成20年度	1,000,000	300,000	1,300,000
平成21年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：気候学・気象学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：気候変動、水循環、環境変動、大気現象、水資源

1. 研究開始当初の背景

気候研究のため過去数十年分の観測データを同一の数値モデルで作成し直した再解析客観解析データは、大陸規模で、水循環の評価を行う際に、大気客観解析データは必要不可欠なものとなっている。再解析(客観解析)データから計算される水蒸気収束量(C)と、独立な降水量(P)観測データを組み合わせることにより、大気側の水収支の残差として、面積平均した蒸発散量(Ea)が計算される。しかし山岳周辺や乾燥地域での見積りは難しいため敬遠されがちである。

一方で、客観解析データ作成に使われるシステムでは、その予報値作成の過程でモデルにより、蒸発量などの地表面フラックスなどが計算されている(Ef)。ここで、実蒸発散量(Ea)と、予報値として算出される蒸発散量(Ef)の経年変化を比較することにより、一部地域の対象地域の蒸発量の増加は自然変動ではなく、人間活動によるものと推定された。

2. 研究の目的

(1)ユーラシア大陸の大気側の水収支各項(P, C, E)の平年値(1979-2002年)を、なるべく誤差が少なくなるように計算する。

(2)大気水循環をよく表現しているとされる再解析データと、我々が作成する日降水量グリッドデータにより、水収支各項の経年変動の変化、予報値の変化を調べ、人間活動の影響が再解析データに現れている地域、期間を同定する。

(3)人間活動による水・地表面状態変化のデータが得られる地域について大気への

影響、人間活動を含めた水循環の変化の地域特性を評価する。

3. 研究の方法

(1)ユーラシア大陸の大気側の水収支各項(P, C, E)の平年値(1979-2002年)を、なるべく誤差が少なくなるように計算する。複数の再解析データ(ECMWF, NCEP, JMA等)によるC, Ea, Efの見積もりの比較をする。

(2)大気水循環をよく表現しているとされるヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)の高分解能(1.125度格子)再解析データと、我々が作成する雨量計に基づく地形効果を考慮した日降水量グリッドデータにより、水収支各項の経年変動の変化を調べる。

(3)予報値の変化(Ef, Pf)を調べ、人間活動の影響が再解析データに現れている地域、期間を同定する。また人間活動の指標である灌漑水量や土地利用変化の情報をあわせて考察する。

4. 研究成果

(1)再解析データの、地表面フラックスや降水量の比較検証について複数の査読付論文が受理され(Yatagai et al., 2007; Yatagai 2007)、いくつかの国際会議において口頭発表、招待講演を行った。ユーラシア大陸における水循環の定量評価の研究が評価されたため、日本気象学会誌「天気」の創立125周年解説記事に、水循環・降水をテーマとして執筆を依頼され、本研究成果を一部含む解説記事を執筆した(谷田貝, 2007)。また総合地球環境学研究所編集の地球環境学辞典で

も水循環解析について執筆した（谷田貝, 2010）。

(2)長期再解析データとして広く用いられるヨーロッパ中期予報センター（ECMWF）の15年再解析（ERA15）、45年再解析（ERA40）、米国気候予報センター（NCEP）再解析、日本の再解析（JRA25）を用いて、アジア地域の水循環の気候要素を計算し、相互比較を行った。広域的な水収支的検証として再解析（ERA40）と雨量計による降水量によりシベリア地域の水収支の季節変化を解析した研究論文などが印刷された（Takashima et al., 2009）。

(3)再解析データと併用する降水量データの作成や山岳地域の水循環解析精度向上のための、衛星データや同位体を利用した研究も、着実に進めることが出来、国内外の学会等で成果公表と意見交換を行った。特にヒマラヤ地域の水収支評価には降水量定量評価が最も重要な課題のため定量評価に注力した（Yatagai and Kawamoto, 2008; 谷田貝, 2009）。

(4)ヨーロッパ中期予報センター（ECMWF）の45年再解析（ERA40）および本課題実施期間中に公開されたInterim再解析（ERA-interim）および日本の再解析（JRA25）と、推進費課題（APHRODITE project）で作成しているアジア地域の日降水量データを用いて、アジア地域のトレンド解析、水収支解析を行った。山岳周辺や熱帯モンスーン地域で、ERA-interimのパフォーマンスが非常に良いことが明らかになった。

(5)トルコ・中国乾燥地域のほかにも、インドの半乾燥地域の水循環の経年変動成分に自然変動成分と人間活動の影響とみられる成分を見出すことができた。インド南部の半乾燥地域について、水循環の経年変動とエルニーニョ、インド洋ダイポールモードとの関係について解析した結果はHydrological Processesに論文として掲載された（Geethalakshmi et al. (2009)）。また、インド気象庁（IMD）と熱帯降雨観測衛星（TRMM）による降水見積り（3B42）によりインド全域について予報解析研究を行った結果が気象集誌に掲載された（Krishnamurti et al. (2009)）。

(6)人間活動の影響については、温暖化との関係もあり中近東の乾燥地域が最も懸念されることが明らかになったため（Kitoh et al., 2008）、モデル評価、日降水量データ作成（

Yatagai et al., 2008）、水収支変動解析を行い国際学会で成果を公表した。中近東では特に降水・水循環トレンドの支配要因は大規模な地形の影響を受けていること、トルコとイランではトレンドの空間スケールが全く異なること、一方で、逆に数100km以下の山岳の影響を受けたトレンドにも人間活動の影響が見られることがわかった。

(7)APHRODITE降水量（Yatagai et al., 2009）1961-2004年の44年分（APHRO_V0902）および1951-2007年の57年分（APHRO_V1003R1）とECMWF40年再解析（ERA40）のN80ガウシアングリッド上の水蒸気発散量データを用いて、水収支各項の長期変動を調査した。推進費の当初計画外の仕様のため雨量計データの入力数を整える計算に至らなかったが、残さとしてのトレンドを計算した（図1）。

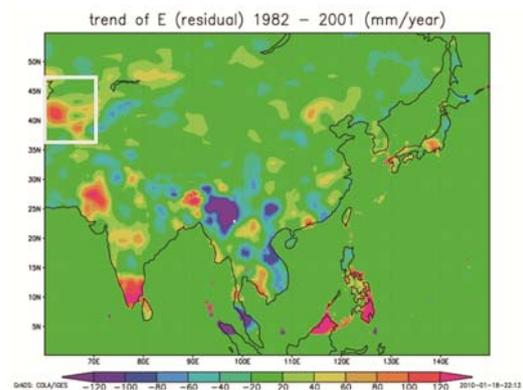


図1 1982~2001年のERA40とAPHRO降水から求めた年実蒸発散量のトレンド（単位 mm/year）。白枠は図2の範囲。

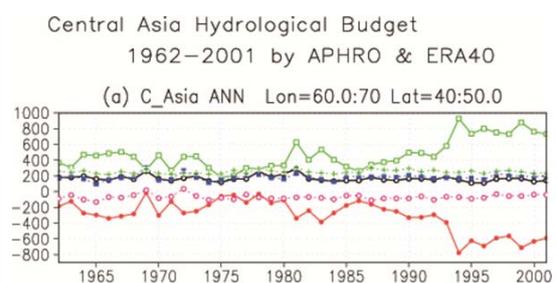


図2 中央アジアにおける実蒸発散（Ea, 緑実線）、予報蒸発散（Ef, 緑点線）、降水量（APHRO, 黒）、予報降水量（青）、実水蒸気収束（Ca, 赤実線）、予報水蒸気収束（Cf, 赤点線）。

特に夏季、中央アジアのアラル湖周辺や、インドのラジャスタン沙漠周辺で顕著な蒸発散量の増加がみられた（図2）。予報値は増加していないため、これは人間活動による河川

水や地下水の農業などへの利用の増加と推測された。トルコでも残さの蒸発散量に増加がみられたが、発散量そのものの増加傾向があり、人間活動の影響についてはより詳細な分析が必要であることがわかった。中国は、対象期間の降水インプットデータ数の変遷が少ないので、比較的きちんとトレンドを計算できる。これにより、黄河の下流では従来から検出されていた蒸発散量の増加がみられたが、上流・中流は降水量そのものが少ないためもあり、蒸発散には有意なトレンドは検出されなかった。これらの成果を、2010年1月のアメリカ気象学会で発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 18件)

1. 谷田貝亜紀代・中村尚・宮坂貴文 (2011): ラダーク気象観測—通年データと2010年8月洪水時の状況—, ヒマラヤ学誌, 12, (印刷中、査読有) .
2. Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada, and N. Yasutomi, (2010): Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years, *Hydrological Research Letters*, 4, 60-64 (査読有) .
3. Yatagai, A., K. Kamiguchi, A. Hamada, O. Arakawa, N. Yasutomi (2010): Daily precipitation analysis of using a dense network of rain gauges and satellite estimates over South Asia: Quality control, Remote Sensing and Modeling of the Atmosphere, Oceans, and Interactions III, Proc. of SPIE Vol. 7856, 785604, doi:10.1117/12.869648 (査読有) .
4. Javanmard, S., A. Yatagai, M. I. Nodzu, J. BodaghJamali, and H. Kawamoto (2010): Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM 3B42 over Iran, *Adv. in Geosci.*, 25, 119-125 (査読有) .
5. 谷田貝亜紀代 (2010): ラダーク気象観測—背景と初期データ—, ヒマラヤ学誌, 11, 116-126 (英文要旨付, 査読有) .
6. Yatagai, A., O. Arakawa and K. Kamiguchi, H. Kawamoto, M. I. Nodzu, A. Hamada (2009): A 44-year daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges, *SOLA*, 5, 137-140, doi:10.2151/sola.2009-035 (査読有) .
7. Krishnamurti, T.N., A.K. Mishra, A. Simon, A. Yatagai (2009): Use of a dense gauge network over India for improving blended TRMM products and downscaled weather models, *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 395-416 (査読有) .
8. Geethalakshmi, V., A. Yatagai, K. Palanisamy and C. Umetsu (2009): Impact of ENSO and the Indian Ocean Dipole on the northeast monsoon rainfall of Tamil Nadu state in India. *Hydrological Processes*, 23, 633-647 (査読有) .
9. 谷田貝亜紀代 (2009): ヒマラヤ周辺の降水量の定量評価—気候値の作成—, ヒマラヤ学誌, 10, 53-62 (英文要旨付, 査読有) .
10. Takashima, H., A. Yatagai, H. Kawamoto, O. Arakawa and K. Kamiguchi (2009): Hydrological balance over northern Eurasia from gauge-based high-resolution daily precipitation data, M. Taniguchi (eds), *From Headwaters to the Ocean: Hydrological Change and Watershed Management*, Talor & Francis., 37-41 (査読有) .
11. Yatagai, A., and H. Kawamoto (2008): Quantitative estimation of orographic precipitation over the Himalayas by using TRMM/PR and a dense network of rain gauges, *SPIE*, 7148-11, doi:10.1117/12.811943 (査読有) .
12. Yatagai, A., P. Xie and P. Alpert (2008): Development of a daily gridded precipitation data set for the Middle East, *Advance in Geosci.*, 12, 165-170 (査読有) .
13. Kitoh, A., A. Yatagai and P. Alpert (2008): Will the ancient "Fertile Crescent" disappear in the 21st century?, *Hydrological Research Letters*, 2, 1-4 (査読有) .
14. Kitoh, A., A. Yatagai and P. Alpert, (2008): Reply to comment by Ben-Zvi and Givati on 'First super-high-resolution model projection that the ancient "Fertile Crescent" will disappear in this century.' *Hydrological Research*

Letters, 2, 46 (査読有) .

15. Yatagai, A., N. Yamazaki and T. Kurino (2007): The products and validation of GAME reanalysis and JRA-25 Part 1: Surface Fluxes, *Hydrological Processes*, 21, 2061-2073 (査読有) .
16. Yatagai, A. (2007): Interannual variation of summertime precipitation over the Qilian Mountains in Northwest China, *Bulletin of Glaciological Research*, 24, 1-11 (査読有) .
17. Xie, P., A. Yatagai, M. Chen, T. Hayasaka, Y. Fukushima, C. Liu and Y. Song (2007): A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. *J. Hydrometeor.*, 8, 607-627 (査読有) .
18. 谷田貝亜紀代 (2007): 水循環解析—データの作成と利用—『天気』54:11-14. (査読付)

[学会発表] (計 22件)

1. Yatagai, A., 2010: Assessing the changes in hydrological budget including anthropogenic effect estimated by the reanalyses and rain-gauges based precipitation data over Asia, 90th AMS Annual Meeting, 17-21 Jan 2010, Atlanta, USA.
2. Yatagai, A., K. Okumiya, R. Sakamoto, 2010: Meteorological observation including UV launched in Ladakh, the westernmost part of the Tibetan Plateau, 90th AMS Annual Meeting, 17-21 Jan 2010, Atlanta, USA.
3. Yatagai, A., N. Yasutomi, A. Hamada, K. Kamiguchi, O. Arakawa, 2009: A 47-year daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges -APHRODITE project-. 2009 American Geophysical Union Fall Meeting, 14-18 Dec 2009, San Francisco, USA.
4. Yatagai, A., T. N. Krishnamurti, A. K. Mishra, A. Simon, 2009: Use of a dense rain-gauge network over Monsoon Asia for improving blended TRMM products and downscaled weather models. Fourth Japan-China-Korea Joint Conference on Meteorology, 8-10 Nov, Tsukuba, Japan.
5. Yatagai, A., 2009: A Development of Quantified Precipitation Climatology over the Himalayas by using TRMM/PR and a Dense Network of Rain-Gauges, MOCA-09, the IAMAS-IAPSO-IACS 2009 Joint Assembly, July 19-29, 2009, Montréal, Canada.
6. 谷田貝亜紀代, 2009: ヒマラヤ山脈周辺の降水量の定量評価、日本気象学会 2009 年度春季大会、2009 年 5 月 28-31 日、茨城県つくば市
7. Yatagai, A., 2009: Quantitative estimation of orographic precipitation over the Himalayas by using TRMM/PR and a dense network of rain gauges, European Geosciences Union General Assembly 2009, 19-24 April, 2009, Vienna Austria.
8. Yatagai, A., 2008: Interannual Variation of Summertime Precipitation around the Northern Part of the Tibetan Plateau in China, AGU 2008 Fall Meeting, 15-19 December, 2008, San Francisco.
9. Yatagai, A., 2008: A quantitative estimate of orographical precipitation over Himalayas by TRMM/PR and dense rain-gauge network, SPIE, 17-21 November, 2008, New Caledonia.
10. Yatagai, A., H. Kawamoto, M. I. Nodzu, T. Watanabe, J. Kubota, A. Kitoh, K. Kamiguchi, O. Arakawa, S. Kanae, 2008: Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources (APHRODITE's Water Resources), Conference of APHW in Beijing, 2008, 7-9 November, 2008, Beijing.
11. Takashima, H., A. Yatagai, H. Kawamoto, O. Arakawa and K. Kamiguchi, 2008: Hydrological balance over northern Eurasia from gauge-based high-resolution daily precipitation data, Hydrochange 2008 in Kyoto, 1-3 October, 2008, Kyoto.
12. Yatagai, A., 2008: The Isotopic Composition of Water Vapor and the Concurrent Meteorological Condition over the Northern Part of the Tibetan Plateau, AMS Mountain Meteorology, 11-15 August, 2008, Vancouver.
13. Yatagai, A., 2008: Interannual Variation in the Atmospheric Branch of the Hydrological Cycle Over the

- Fertile Crescent, First International Conference: From Deserts to Monsoons, 1-6 June, 2008, Crete.
14. Yatagai, A., A. Sugimoto, and M. Nakawo, 2008: Isotopic Composition of Water Vapor and Concurrent Meteorological Conditions Around the Arid Regions of China and the Tibetan Plateau, First International Conference: From Deserts to Monsoons, 1-6 June, 2008, Crete.
 15. 谷田貝亜紀代, 2008: 中近東地域の降水・水循環変動の解析、日本気象学会 2008 年度春季大会、2008 年 5 月 18-21 日、横浜.
 16. Yatagai, A., H. Kawamoto and P. Xie, 2008: Products and validation of GAME re-analyses and JRA-25: Precipitation, Third WCRP International Conference on Reanalysis, Jan. 28 - Feb. 1, 2008, Tokyo, Japan.
 17. Yatagai, A., P. Xie, 2008: Recent Variation of the Atmospheric Branch of the Hydrological Cycle over the Yellow River, Third WCRP International Conference on Reanalysis, 29 January, 2008, Tokyo, Japan
 18. Yatagai, A., H. Kawamoto, T. Watanabe, J. Kubota, S. Kanae, A. Kitoh, K. Kamiguchi and O. Arakawa, 2007: Asian Precipitation -- Highly-Resolved Observational Data Integrtion Towards Evaluation of the Water Resources (APHRODITE's Water Resources), *1st Workshop of The Program to Evaluate HighResolution Precipitation Products (PEHRPP)*, 4 December, 2007 WMO, Geneva
 19. Yatagai, A., A. Sugimoto and M. Nakawo, 2007: The isotopic composition of water vapor and the concurrent meteorological conditions around the northeast part of the Tibetan Plateau, IUGG, 2-11 July 2007, Perugia, Italy. (invited)
 20. Yatagai, A., P. Xie and P. Alpert, 2007: Development of a daily grid precipitation dataset over the East Mediterranean: extreme events in the analysis dataset, IUGG, 2-11 July 2007, Perugia, Italy.
 21. Yatagai, A., H. Kawamoto, T. Watanabe, J. Kubota, S. Kanae, A. Kitoh, K. Kamiguchi and O. Arakawa, 2007: Asian Precipitation -- Highly-Resolved Observational Data Integrtion Towards Evaluation of the Water Resources (APHRODITE's Water Resources), 21st Pacific Science Congress, June 12-18, 2007, Okinawa.
 22. 谷田貝亜紀代, 2007: インドの日降水量解析とグリッド化への影響評価、日本気象学会 2007 年度春季大会、2007 年 5 月 13-16 日、東京.
- [図書] (計 5 件)
1. 谷田貝亜紀代 (2011) 「地球温暖化と高地」、奥宮清人編『生老病死のエコロジー---チベット・ヒマラヤに生きる』(分担執筆)、昭和堂、p149-155.
 2. 谷田貝亜紀代 (2010) 「水循環と気象災害」、総合地球環境学研究所編「地球環境学事典」、弘文堂、p54-55.
 3. 谷田貝亜紀代 (2008) 「アジア全域の降水量データを整備」、総合地球環境学研究所編「地球の処方箋」、昭和堂、p. 200-202.
 4. 谷田貝亜紀代 (2007) 「ビンと除湿機の思い出」中尾正義編『地球環境を黒河に探る』、勉誠出版、p. 52-55.
 5. 谷田貝亜紀代 (2007) 「黒河流域の気候—自然環境とその変化」、中尾正義編「中国辺境地域の 50 年」、東方書店、p. 41-51.
- [その他]
ホームページ等
<http://www.chikyuu.ac.jp/akiyo/>
<http://www.chikyuu.ac.jp/precip/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
- 谷田貝 亜紀代 (Akiyo YATAGAI)
- 総合地球環境学研究所・研究部・助教
- 研究者番号 : 60353447