中国科学: 地球科学 2020 年 第 50 卷 第 3 期: 436 ~ 438
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

点 评

全球变化水文学: 陆地水循环与全球变化

汤秋鸿[1,2*]

1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100094
* 通讯作者, E-mail: tangqh@igsnrr.ac.cn

收稿日期: 2019-09-03; 收修改稿日期: 2019-11-15; 接受日期: 2019-11-28; 网络版发表日期: 2019-12-25
国家自然科学基金项目(批准号: 41425002、41730645、41790424)资助

1 引言

全球变化水文学是全球变化研究与水文学交叉的一门新兴前沿学科. 全球变化水文学综合水文学、气候学和地理学, 研究不同时间和空间尺度上陆地水循环与全球变化相互作用, 其核心目标是理解陆地水循环演变的自然和人为因素及其影响与反馈. 随着地球演化进入人类主导的新地质时代——“人类世”, 在气候变化、土地利用/覆盖变化、人类用水活动等因素影响下, 陆地水循环系统正在发生快速变化, 水文过程呈现非稳态特征, 对水文学的更新与发展提出了新需求(Abbott等, 2019). 在此背景下, 全球变化水文学(Global Change Hydrology)应运而生, 试图厘清水循环变化的自然波动和人类“印记”, 以更好地理解水循环变化, 为水资源可持续管理服务.

全球变化水文学是一门崭新的学科, 其内涵还在迅速发展. 早在1990年, 美国全球变化研究计划中就包含有全球变化水文研究计划(Global Change Hydrology Program), 主要内容是研究自然的气候波动和人为气候变化(温室气体排放等人类活动引起的气候变化)对陆地水循环的影响; 其中, 人为气候变化对水循环的影响与反馈是重点关注. 随着全球变化水文研究的不断深入, 研究者发现除了人为气候变化之外还有多种人为因素影响水循环, 同时水循环变化与气候系统存在复杂反馈, 仅考虑气候变化(含自然气候波动和人为气候变化)的影响并不能充分解释陆地水循环演变, 因此全球变化水文学的内涵由气候变化影响扩展到陆地水循环演变的自然和人为因素(Tang和Oki, 2016). 人为因素对水循环的影响与反馈是全球变化水文学研究中需要重点突破的部分, 也是当前的研究热点. 全球变化水文学关注的重大科学前沿问题包括: 厘清陆地水循环变化的自然和人为因素(Gudmundsson等, 2017)、发展考虑自然和人为因素影响与反馈的水文模型、未来不确定性下的水风险预估及应对策略(Aerts等, 2018)、探索全球水治理方案等.

2 陆地水循环演变的自然和人为因素

陆地水循环演变的自然和人为因素体现在气候变化、土地利用/覆盖变化、人类用水活动等各个方面(图1). 由于气候变化本身包含了自然的气候波动和人为气候变化, 分离陆地水循环演变的自然和人为因素时, 需要区分自然气候波动和人为气候变化的影响(Gudmundsson等, 2017). 土地利用/覆盖变化也受到自然因素和人类活动的双重胁迫, 分析陆地水循环演变的原因时, 不能简单地把土地利用/覆盖变化影响全部

中文引用格式: 汤秋鸿. 2020. 全球变化水文学: 陆地水循环与全球变化. 中国科学: 地球科学, 50: 436–438, doi: 10.1360/SSTe-2019-0200
英文引用格式: Tang Q. 2020. Global change hydrology: Terrestrial water cycle and global chang. Science China Earth Sciences, 63: 459–462, https://doi.org/10.1007/s11430-019-9559-9

© 2019 《中国科学》杂志社

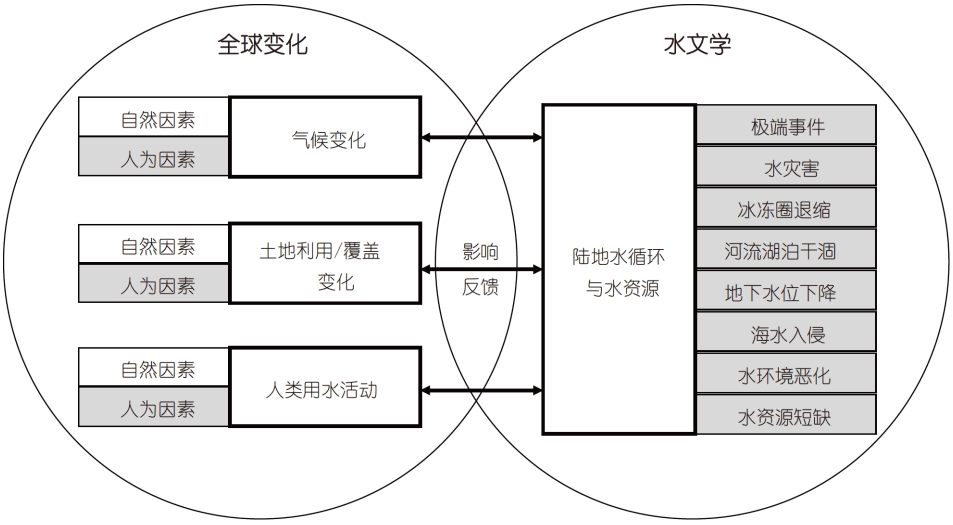

图 1　全球变化水文学的研究框架

归因为自然或人类活动影响，而应该区分自然和人为因素(Fowler等, 2019). 人类用水活动主要是人为影响, 但也受到自然因素的影响，例如自然气候波动使得不同丰/枯年份的农业灌溉用水相应减少/增加. 在全球变化水文学的研究框架下(图1), 气候变化、土地利用/覆盖变化与人类用水活动一起构成了陆地水循环变化的主要全球变化因子，推动了“人类世”的陆地水循环演变(Abbott等, 2019).

3　自然和人为因素对水循环的影响与反馈

在自然和人为因素共同作用下，陆地水循环系统处于持续快速变化之中，水文过程呈现非稳态特征, 极端事件增多、水灾害频发、冰冻圈退缩、地下水位下降(de Graaf等, 2019)、河流湖泊干涸、海水入侵、水环境恶化、水资源短缺等涉水问题突显. 这些水问题尽管可能发生在局地或者区域尺度，但是其驱动因素或者影响与反馈往往是全球性的，因此必须以地球系统科学的理论开展研究. 在地球系统科学的框架下，自然和人为因素共同影响水循环，而水循环变化反过来影响地球环境. 全球变化水文学重点突破人为因素对水循环的影响，及其反馈于气候系统和人类社会由此给人类文明带来的风险. 从全球变化水文学的角度, 干旱和洪水并不完全是“自然灾害”(Van Loon等, 2016), 人类社会在改变水灾害特征的同时也在承受灾害的影响以及改变应对灾害的方式. 在气候变化方面，全球气候变暖导致冰冻圈消融加速，冰冻圈退缩反馈气候系统，带来更多的极端天气(Tang等, 2014). 在土地利用/覆盖变化方面, 植物对大气二氧化碳浓度增高的生理生态响应、森林砍伐和生态建设都可能影响河川径流，导致河流湖泊干涸或者洪水灾害(Feng等, 2016; Fowler等, 2019). 在人类用水活动方面, 大量的地表和地下取用水导致河道生态流量不足, 影响海平面上升速率、威胁水生态与水环境(de Graaf等, 2019).

4　全球变化下的水风险及应对

全球变化水文学致力于解析水灾害和全球性水问题背后的人为原因, 以指导人类调整自身行为, 实现水资源可持续管理和联合国2030年可持续发展目标. 在全球变化背景下，陆地水循环系统快速变化可能导致极端事件的威胁加大、引发新型涉水灾害和风险；人口增长和社会经济发展使得暴露度不断增加，客观上水风险具备增加的条件. 但是，在物理暴露度增加的同时，人类社会采取应对和防范措施将降低社会-生态系统的脆弱性. 水利基础设施使得人类对区域尺度陆地水循环具有一定的调控能力，应对陆地水循环系统快速变化的“自适应”调控可能抵消一部分风险，同时将面临水利基础设施功能效益的复杂权衡. 个人对风

险的认识也将影响到预防措施的采用, 从而影响到风险防范(Aerts等, 2018). 全球变化水文研究正在将人类行为和社会经济反馈纳入考虑, 预估全球变化下的水风险变化趋势, 探索提升社会-生态系统恢复力的水风险管理, 提出全球水治理方案, 为应对决策提供科学参考.

5 结语

陆地水循环演变的原因是全球变化水文学研究最为核心的问题之一, 厘清陆地水循环变化的自然和人为因素是应对全球水风险的前提. 陆地水循环演变的自然和人为因素体现在气候变化、土地利用/覆盖变化、人类用水活动等多个方面, 但是当前研究大量集中于分离某个或者部分驱动因子的自然和人为因素, 或者将部分因子简单认定为自然或人为因素(例如将气候变化认为是自然因素, 土地利用/覆盖变化和人类用水活动认为是人为因素), 缺少科学严格的全球变化下水循环演变归因研究. 厘清陆地水循环变化的自然和人为因素, 阐明自然和人为因素影响陆地水循环的机理, 预测全球变化下陆地水循环演变趋势是未来的研究热点和难点.

由于局地水循环变化的影响因素和反馈往往是全球性的, 仅依靠观测和实验手段目前尚难以实现全过程解析及定量区分各因素的影响, 模型模拟成为研究的重要手段. 在地球系统模式框架下发展考虑自然和人为因素影响与反馈的水文模型是全球变化水文学的一个重要研究内容. 近期已有研究在地球系统模式中耦合人类活动参数化方案、考虑山坡水文过程、发展陆地水循环过程综合集成模型等, 这些进展提升了陆地水循环演变的模拟与预测能力, 为全球性水问题的分析及推演提供了有效的研究手段(Bierkens, 2015).

全球变化水文学是一门处于快速发展过程中的新兴交叉前沿学科领域, 本文的评述仅是全球变化水文学的冰山一角. 尽管如此, 本文力求展示全球变化水文学的主要研究思想及观点, 希望能为中国的全球变化水文学研究提供一些参考.

参考文献

Abbott B W, Bishop K, Zarnetske J P, Minaudo C, Chapin F S, Krause S, Hannah D M, Conner L, Ellison D, Godsey S E, Plont S, Marçais J, Kolbe T, Huebner A, Frei R J, Hampton T, Gu S, Buhman M, Sara Sayedi S, Ursache O, Chapin M, Henderson K D, Pinay G. 2019. Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. Nat Geosci, 12: 533–540

Aerts J C J H, Botzen W J, Clarke K C, Cutter S L, Hall J W, Merz B, Michel-Kerjan E, Mysiak J, Surminski S, Kunreuther H. 2018. Integrating human behaviour dynamics into flood disaster risk assessment. Nat Clim Change, 8: 193–199

Bierkens M F P. 2015. Global hydrology 2015: State, trends, and directions. Water Resour Res, 51: 4923–4947

de Graaf I E M, Gleeson T, (Rens) van Beek L P H, Sutanudjaja E H, Bierkens M F P. 2019. Environmental flow limits to global groundwater pumping. Nature, 574: 90–94

Feng X M, Fu B J, Piao S L, Wang S, Ciais P, Zeng Z Z, Lu Y H, Zeng Y, Li Y, Jiang X H, Wu B F. 2016. Revegetation in China's Loess Plateau is approaching sustainable water resource limits. Nat Clim Change, 6: 1019–1022

Fowler M D, Kooperman G J, Randerson J T, Pritchard M S. 2019. The effect of plant physiological responses to rising CO_2 on global streamflow. Nat Clim Change, 9: 873–879

Gudmundsson L, Seneviratne S I, Zhang X. 2017. Anthropogenic climate change detected in European renewable freshwater resources. Nat Clim Change, 7: 813–816

Tang Q, Oki T. 2016. Terrestrial Water Cycle and Climate Change: Natural and Human-Induced Impacts, American Geophysical Union (AGU) Geophysical Monograph Series, Vol 221. Hoboken: John Wiley & Sons. 252

Tang Q, Zhang X, Francis J A. 2014. Extreme summer weather in northern mid-latitudes linked to a vanishing cryosphere. Nat Clim Change, 4: 45–50

Van Loon A F, Gleeson T, Clark J, Van Dijk A I J M, Stahl K, Hannaford J, Di Baldassarre G, Teuling A J, Tallaksen L M, Uijlenhoet R, Hannah D M, Sheffield J, Svoboda M, Verbeiren B, Wagener T, Rangecroft S, Wanders N, Van Lanen H A J. 2016. Drought in the Anthropocene. Nat Geosci, 9: 89–91

(责任编委: 贺缠生)