

AI×巨型超算：实现3000亿粒子的银河系模拟

原创 imufu 牧夫天文 2025年12月10日 11:31 山东



主译：毕逸飞
校对：鄧雲濤
审核：牧夫天文校对组
美编：张一帆
后台：李子琦

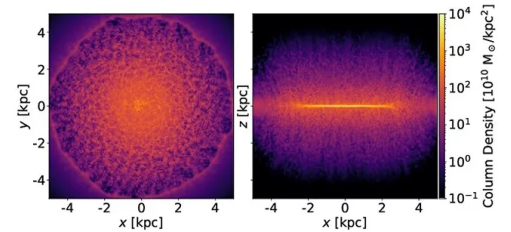
银河系由数千亿颗恒星、气体和暗物质构成。如果我们要理解这类星系在宇宙历史中是如何诞生和演化的，关键就在于定量了解各个恒星的运动，以及大质量恒星发生超新星爆发后回归星际气体，再由星际气体诞生新恒星等的相互作用。

虽然我们通过观测可以较好地了解星系中恒星的轨道和重元素的分布等，但要解析方法再现银河历史仍然困难，因此数值模拟在银河研究中扮演着重要角色。要进行理想的模拟，需实际使用数千亿个粒子来表示银河，并尽可能缩短计算的时间步长。然而，这需要极其庞大的计算量，即使使用最先进的超级计算机也需要数年时间，因此过去不得不使用空间和时间分辨率远低于真实银河的粗糙模型来进行模拟。此外，超新星爆发等急剧变化仅发生在银河的极小部分，如果以短时间步长精确追踪这些现象，会降低整个银河的计算速度，并导致使用多个处理器的并行处理效率显著下降。

日本理化学研究所数理创造研究中心（iTHEMS）的平岛敬也（Kei-ya Hirashima）先生及其研究团队开发了一种方法，用AI预测气体运动的代理（Surrogate）模型来替代需要短时间步长的超新星爆发计算部分，并在小型星系的计算中验证了其性能。

此次，平岛等人新开发了AI代理模型和计算硬件最优化框架，终于成功进行了银河系规模的星系模拟。新的计算代码将星系模拟的计算效率最多提高了约20倍。此外，通过在GPU上进行深度学习模型的学习，在CPU侧进行模拟中的预测，也消除了CPU和GPU之间数据传输的等待时间。

平岛等人在世界顶级规模的CPU型超级计算机“富岳（Fugaku）”上，使用了15万个节点（超过700万个核心）的处理器，执行了总粒子数达3000亿个的银河模拟。过去的星系模拟最多止步于数十亿粒子，而这次计算使空间分辨率提高了100倍以上，实现了世界首次解析至银河系中每一颗恒星的“逐星（star-by-star）”模拟。



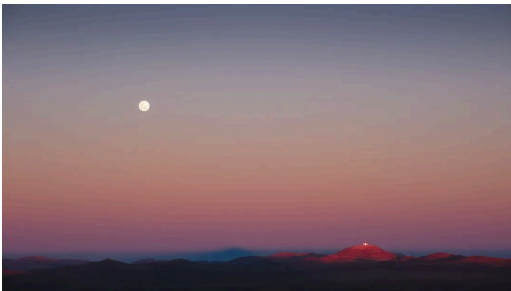
● 银河气体分布
模拟所得的某一时刻银河气体分布（左：从上方俯瞰银河盘，右：从侧面观察银河盘）。颜色越暗亮的部分密度越高（图片来源：Hirashima et al. (2025)）

通过这项模拟，现在可以一致地追踪各个恒星的超新星爆发，随之产生的气体加热、膨胀、冷却等过程以及银河整体的演化。此外，诸如恒星形成率、银河内外气体流入流出率等银河尺度上的统计量，也能以与传统方法同等的精度再现。

今后，将运用此方法进行银河的长时间演化计算，通过将恒星轨道、重元素丰度、年龄分布等直接与“盖亚(Gaia)”空间天体测量卫星等的观测数据相比较，有望验证银河旋臂、棒状结构、厚盘等结构是如何形成的。同时，还能够追踪恒星形成和超新星爆发等如何引起星际气体被加热、搅拌，流出银河或被重新吸入，从而贯通地研究气体与元素的循环过程。该研究也有望触及太阳系及生命材料物质是在银河的何种环境中、何时生成并运送而来等根本性问题。

责任编辑：甘林
牧夫新媒体编辑部

『天文观测』 牧夫出品 微信公众号：astronomycn



智利阿塔卡马沙漠，图源：ESO

谢谢阅读



imufu

钟意作者