

MEDIOS DE COMUNICACIÓN

UC3M和UCM数学家发现动物群体中存在的“混乱蝴蝶效应”

马德里卡洛斯三世大学（UC3M）和马德里康普顿斯大学（UCM）的研究人员发现了动物群体、特别是昆虫群体中可能出现的混乱状态之间的相变。这一突破有助于更好地理解它们的行为，或将其应用于细胞运动以及肿瘤研究中。

当系统的条件发生剧变时，就会发生相变——如水从液态转变为固态时的冻结过程。在这项最近发表于期刊《物理评论 E》（Physical Review E）上的研究中，这个由数学家组成的研究团队在昆虫群体中发现了类似的现象。研究人员及论文撰写者之一，UC3M大学Gregorio Millán Barbany研究所所长Luis L. Bonilla解释：“即使在公园或开放空间中，昆虫群体也能保持在有限的范围内聚集。为了解释这一现象，我们假设存在一种谐振势能，一种类似于弹簧的恢复力（就像拉伸或压缩弹簧时它试图恢复到平衡位置）将它们限制在一起。”

昆虫的这种行动限制，反应了力和位移之间的比例常数。研究人员发现，在限制较低的情况下，昆虫在群体中的运动是混乱的（如果改变初始条件，它们的运动会发生很大变化）。在这种情况下，当蜂群分成几个群体时，就会发生相变。然而这些蜂群彼此之间高度关联，因为有昆虫从一个群体转移到另一个群体。在这种相变的临界线上，群体中相互影响的两只昆虫之间的距离与群体的大小成正比，即使组成群体的昆虫数量无限增长亦是如此。研究人员表示：这种被称之为“无尺度混乱”的现象直到现在才被发现。Luis L. Bonilla解释：“随着昆虫数量的增加，临界线将向零限制移动。发生的情况是两只仍能感受到彼此影响的昆虫之间的最大距离与蜂群的大小成正比。无论我们将多少昆虫放入其中，这个规律都适用。这是我们的一项全新发现。”

具体来说，数学家们通过数值模拟预测：某些昆虫群体（特别是一类小型苍蝇）具有无尺度的混乱行为，并转化为某些幂律，其指数与自然界中已测量到的指数相似。研究人员还发现了一个简化的平均场理论来证实无尺度混乱的相变。论文的另一位作者、UCM数学家，同时也是UC3M大学Gregorio Millán Barbany研究所相关研究人员Rafael González Albaladejo指出：“无论是在自然界中的观察还是在实验室中的控制研究，寻找并发现我们预测的混乱阶段之间的相变是很有意义的。”

研究人员解释：群集形成是所谓的“主动物质”的一种表现，由自主推动的个体组成整体。它可以是一群昆虫、一群羊、一群鸟、一群鱼，也可以是移动的细菌、黑色素细胞（分布在皮肤中的色素细胞）或定期筛选不规则颗粒或种子的人造系统。Rafael González Albaladejo补充说明：“群集形成机制在其中一些系统中发挥着作用，因此我们研究获得的结果可以与生物学、细胞研究以及肿瘤和其他疾病的研究相联系。”

这么多动物是如何一起行动的？ 研究人员解释：每个个体都只感知到它的邻居，并根据感知的情况作出移动，即使他们没有关于整个群体移动的全局视角。根据使用视觉、听觉或在液体中的振动的方式，邻居的概念可能会有所不同。在一起移动的羊群

MEDIOS DE COMUNICACIÓN

会看到并感知周围的羊只，而成群的鸟类则只看到最近的邻居，即使它们之间的距离相当远。“根据不同情况，移动可能意味着在通常情况下跟随邻居朝同一个方向移动，或者根据情况采取不同的策略：如当一群人试图从一个拥挤的场所通过多个门出去时，有时不跟随邻居反而更有优势。”研究人员补充说明。

研究团队的数学家们花了大约两年的时间来开展这项研究工作。起初，研究人员试图通过分析在参数控制（如减小噪声）的临界值下，填满一个具有恒定密度的空间并且在通过临界值时发生有序排列的一群昆虫的实验来解释相变。但后来他们决定添加一个将群体限制在一定范围内的谐振势，并探索当个体之间的吸引力减弱时会发生什么。“对于我们不断增加的固定数量的昆虫，研究发现了许多周期性、准周期性和最终的混乱状态。令人惊讶的是我们发现了一种之前不知道、也没有想到的混乱状态之间的转变，并成功找到了正确的论据和测试来证明其存在。”该研究论文的另一位作者、UCM应用数学与数学分析系的Ana Carpio指出并总结强调在从这项工作开始将有许多工作要做。“无论是从实验中寻找证实我们的预测并更好地使模型适应实验观察，还是进行超越我们的数值模拟的理论和数学研究。”

参考书目：

《封闭Vicsek集群模型中的无标度混乱》(Scale-free chaos in the confined Vicsek flocking model) 期刊《物理评论E》107, 014209

作者: González-Albaladejo, R. Carpio, A. Bonilla, L.L. (2023)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.107.014209>

《混乱昆虫群的平均场理论》(Mean field theory of chaotic insect swarms.)

期刊《物理评论E》(已接受)

arXiv 预印本 <https://archiv.org/abs/2305.1408>

作者: González-Albaladejo, R. Bonilla, L.L. (2023)

UC3M和UCM数学家发现动物群体中存在的“混乱蝴蝶效应”