

边界封锁策略对规模经济的短期效应分类

Abstract: 疫情封锁是对大规模经济系统限制流动性的外生冲击，大封锁下经济组织间大量的合作、供应关系被打破，组织边界被引导性封锁重新塑造，本文设计了一种类网络结构，将宏观经济量分散到各节点上，节点通过连边组成“经济组织”将微观经济量逐步加总为宏观经济量，由此赋宏观量以微观细节，进而将微观上封锁对经济组织的影响量化到宏观经济波动，借助计算机模拟分类不同封锁措施对宏观经济带来的波动。

Keyword: 疫情封锁 多主体模拟 宏观经济波动

1.1 引言

2020 年初至今，新冠疫情对世界经济造成显著冲击，各国为控制疫情传播严格限制人员流动和交通运输，对经济按下暂停键，从消费端和生产端两个方面同时对经济运行带来压力^[1]。回顾疫情以前人员高度流动的“旧常态”，疫情重新扭转了过往的人员和商品在信息媒介（虚拟）和飞机、集装箱这样的高效交通工具（现实）中的流动性范式，在推行高度固定的社交形式的同时使人们反思以往的过度流动的不可持续性^[2]。应对疫情，怎样的行政封锁对策才是有效的呢？积极调查具体处理拒绝一刀切管制的比例原则被认为是基本态度^[3]。疫情封锁会如何改变经济的流动性和经济组织的边界？这个问题仍是有待积极探索的。

封锁要解决的是流动性带来的大流行病风险，但任何行政手段都不可能行使长期高强度的封锁——出于维持现代生产生活供给的基本需要，相对来说短期封锁对于经济系统的影响以及进一步讨论如何制定封锁措施是比较重要的，所以本文旨在分析行政短期封锁（下文简称“封锁”）对于经济系统的一些影响。若要分析封锁之于经济系统流动性的短期效应，必须对疫情前的高流动性经济系统进行建模，考虑到行政封锁手段是依尺度展开的，由国家高层或地方政府逐层下达封锁指令，这个模型也必须反映这种封锁措施的顺序性和尺度特征。

不仅封锁呈现顺序性与尺度性，经济系统的某些侧面如商品生产也是呈现自下而上的顺序性（或称自组织性）和尺度性（供应市场既可以是国家范围的也可以是行业范围的）的，对经济的行政封锁实际上是社会的巨型复杂系统不同侧面的纠缠（市场经济的系统与政治的“官僚—指令”系统），这使单纯的数个经济量和简单方程难以反映复杂系统内部演生的丰富细节，笔者设计了一个分析工具：**带量的簇**，以复杂结构解析系统性现象。

1.2 模型基本概念

带量的簇 C 是为经济量添加了一个结构，记为四元组 $\{X_t, T, \text{Sum}, P\}$ ，其中 T 和 X_t 表示时间及经济量 X 的随 T 取的时间序列， P 表示对经济量 X_t 的一个划分是一个巨大的集合及其集族，其中每个元素均为数值， Sum 是对 P 上数值元素按集族加总求和的计算策略，对策略 Sum 一般要求：

$$(\text{式 } 1) \quad \text{Sum}(P) = X_t$$

也即在任意时刻 T ， Sum 必须保经济量 X_t 在任意选择划分方式下不变，即保值性。

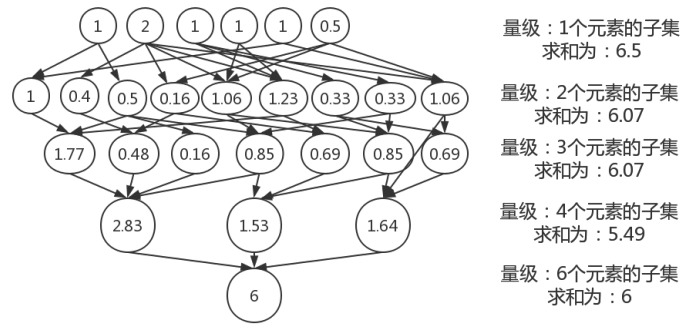


图 1 小型划分集 P 的树状表示图和求和过程图示

如图 1 所示，求和策略 Sum 为对某个量级的子集 x_i （该符号也表示其数值量），其直接父集合数量为 $f(x_i)$ ，则该子集对每个直接父集合贡献分量 $\frac{x_i}{f(x_i)}$ ，每一量级的总和为 $\sum x_j$ （ j 表示同一量级的各个对象），该策略满足式（1）。一般来说如果某一层级所有子集都全部贡献于另一层级，则这两个层级的数值总和应该相等，但与图 1 实际结果相悖，原因是该例对 $\frac{x_i}{f(x_i)}$ 无法有理化时小数点后两位向下取整，实际操作中将操作浮点小数以缩小误差。

处理流动性问题要求实现系统中边界的产生、阻隔和破碎重组行为，以在此基础上模拟流动性的变化。因此以下对带量簇中的边界做出定义：

在巨型带量簇 C（所跨尺度量级大）的簇族中，定义**组织体**为任意子集的别名，定义**组织序**为组织体所包含相异元素（非集合）的个数，定义**组织层序**为按组织序顺序递增排列的各组织体，组织层序有**层间尺度**来决定多大范围内的组织体可以视为在同一层内，本文采用对数尺度，例如以 $\log 10$ 对数化组织序并将相近的组织序归于同一层。由此巨型带量簇表示为一系列不同尺度的组织体之集群。由于带量簇即对大集合划分得到的簇族，划分本质即区别不同组织体的边界，由此自然延伸出边界的定义：任意个组织体集合之交。边界由此认为是某两或多个父组织体共有的子组织体亦或某个组织体对其各个父组织体的关联，边界实质上表示复杂的隶属关系。

以上我们实现了静态边界的定义，基于带量簇的时序性以及分析市场动态出发，重新设计带量的簇 C 为五元组 $\{X_t, T, \text{Sum}, P, F\}$ ，F 为对 P 的更新策略，在保持当前经济量 X_t 不变下改变划分方式 P 的细节，打碎或合并 P 中的边界使其动态演化。更新策略的执行细节是自定的，笔者认为由于总经济量 X_t 不变，边界的演化与组织体关系的更替实际上与经济量背景无关而只相关于经济体的某个相对独立的信息维度——组织内部发生交换、合作的方向与结构，而这些则与流动性问题密切相关。我们引入“推力—拉力”的转移模型重新理解策略设计问题，除去经济量具体背景则任一组织体只有其他组织体作为其更新策略的变量，考虑一组织体作为多个父组织体的边界，该组织体的行为集合有**【排除父体，新入父体】**：

排除父体，选择某个父组织体去除其包含该组织体的边界部分；

新入父体，选择某个父组织体使其加入该组织体作为新的部分。

同时考虑一组织体对其与其他组织体所交边界的子组织体，该组织体的行为集合亦有**【排除子体，新入子体】**：

排除子体，选择某个子组织体去除之使不包含该子组织体作为边界；

新入子体，选择某个子组织体使其加入本组织体使组织体扩充边界。

每个组织体可以选择其中一组亦或两组行为集合，父子组织体的行为博弈是一个有效的“推—拉”行为。我们可以由具体的经济量背景设定推拉行为的细节取舍，从而刻画现实的

经济系统内部的边界结构与流动性特征。

至此一个抽象的簇分析工具得到相对完善的定义,但出于观测经济现象与检验理论的需要,我们接下来将带量簇的设计与具体经济学对象进行对应。不妨将边界解析为”对不同合作对象权重的分布“,在此种理解下组织体上的**部分量** x 是对其全体子组织体应用加总策略 **Sum** 求得的对该组织体分量的加总,其可对应”公司的月产出“或”社区的日消费“,组织体对更大组织进行隶属和分量贡献表示了更大尺度下经济个体的宏观经济量,公司的产出可近似加总为城市产出,而城市产出又可近似加总为国家产出,同样地,家庭消费可近似加总为社区消费进而又近似加总为阶层消费。大量组织体盘根节错的分量贡献加总网由此得以表示经济系统某个宏观量的组织图景。

在选定对数尺度以后(实验中介绍尺度选取方法),我们还可以对照事实确定哪些尺度是国家级尺度,类推也可确定各个量级如公司或城市的尺度,从而在各个组织层级展开行政封锁也是清晰且执行细节丰富的。簇分析法允许我们赋予宏观经济量以微观实现细节,我们在保持对经济量的各种操作时,例如使资本量簇对时间求导获得利率图景、使不同时期消费品量簇相差再比基期消费品量获得物价指数图景、劳动力量簇对时间求导获得就业率图景,也允许我们将这些宏观经济图景微缩到”国际“、“国内“、“大城市内“、“社区间”的范围或一些更细节的环境中。而所有的这些簇分析,在选定好问题宏观经济量背景后,主要的宏观量图景几乎就由各组织体的特征尺度(组织体所属组织层序)和特征数量(组织体上的部分量 x) 的分布所描述。

根据边界状态的不同可进一步对单个组织体进行分类:

- 1) 若组织体无法表示为某些更大组织体之边界,则认为该组织体是**封闭的**;
- 2) 若组织体可以表示为 N_1 种不同的 2 个更大组织体之边界, N_2 种不同的 3 个更大组织体之边界,乃至 N_i 种不同的 i 个更大组织体之边界,则认为该组织体是**开放的**, $\sum_{j=1}^i (j \times N_j)$ (i 为该组织体的所有父组织体的数目) 为该组织体的**开放度**;
- 3) 若组织体无法表示为某些更小组织体之合并,则认为该组织体是**原子化的**;
- 4) 若组织体可以表示为 M_1 种不同的 2 个更小组织体之合并, M_2 种不同的 3 个更小组织体之合并,乃至 M_j 种不同的 j 个更小组织体之合并,则认为该组织体是**可分的**, $\sum_{i=1}^j (i \times N_i)$ (j 为该组织体的所有子组织体的数目) 为该组织体的**可分度**。

开放性分类(自上而下的)和可分性分类(自下而上的)从不同方向上将边界的分布转化到组织体开放度(或可分度)的分布上,接下来我们仅通过讨论父子组织体关系即可获取边界的性质,求组织体开放度(或可分度)的分布并计算一些重要指标(如平均值、熵值)便可获取组织体间复杂边界的特殊细节,例如开放度高而可分度高的组织体区域一般是边界复杂且破碎的,可分度低且开放度低的组织体区域往往是层次少、上下关系简单的。

1.3 模型框架

1.3.1 对流簇模型

为了复现疫情前的经济系统,需要分析此系统中多对侧面供需市场以刻画经济系统细节,我们设计“供给量簇”和“需求量簇”并添加供需关系式以给出这样的供需分析工具。

供给量簇为 $C_s=\{S_t, T_s, \text{Sum}, P_s, F_s\}$, 需求量簇为 $C_d=\{D_t, T_d, \text{Sum}, P_d, F_d\}$, 并且有如下关系:

$$(式2) \quad T_s = T_d$$

$$(式3) \quad P_s^{-1}(C_s) = P_d^{-1}(C_d)$$

$$(式4) \quad \begin{cases} S_{t+1} = S_t + (D_t - S_t) \times \delta_1, \delta_1 > 0 \\ D_{t+1} = D_t + (S_t - D_t) \times \delta_2, \delta_2 > 0 \end{cases}$$

$$(式5) \quad \begin{cases} F_s = \{\text{排除父体, 新入父体}\} \\ F_d = \{\text{排除子体, 新入子体}\} \end{cases}$$

将满足这些关系的两个簇合称为“**对流簇**”。式 2 表示对流簇统一两簇的时间；式 3 中 $P^{-1}(C)$ 表示对簇 C 逆用（去除）划分方式 P 得到的无集族巨型集合，式 3 表示两簇共用一个巨型集合而各具划分方式，也即供给量簇和需求簇都是同一大群人的两种组织方式；式 4 体现了市场的供需平衡法则，供给量和需求量彼此逼近，供需平衡法则一般要求短期市场上供需是几近相等的，但本文并不使短期供需相等，原因是本文所分析的封锁带来的扭曲市场供求效应无法在供需强效相等下出现， δ_1 和 δ_2 分别为供给量与需求量对平衡供需的反应程度，满足 $\delta > 0$ 即可自行设计具体数值。式 5 则假设了充分大的市场经济下供给量总是由小群体向大群体传递（向上分工）而需求量总是由大群体向小群体传递（向下分配）。

1.3.2 供给量更新策略 F_s 设计

接下来根据供需的经济背景具体设计更新策略 F_s 和 F_d ，先考虑供给量更新策略 F_s 。由式 5 可知，每一次更新只允许选择“排除某个父体”或“新入某个父体”的操作，我们引入**效用最大化的理性人假设**，对于 F_s 的每个具体执行 f 有 $\max\{U(f)|f \in F_s\}$ 作为**最终敲定策略**，其中 U 为**效用函数**。于是讨论最终策略只需讨论两个问题：有哪些具体执行 f 可以纳入考虑范围以及如何选取效用判定标准 U 。

假设供应体系根据由小而大的分工生产过程组织，这一供应逻辑要求各微观组织体遵循最大化预期供应量（生产量），也即组织体上部分量 x 的预期最大化，利用供应量的该特征我们可以设计 U 为**执行策略后组织体上的预期部分量 x** 。预期部分量 x 最大化的逻辑兼容生产体系中任一供应体的对父供应体的理性选择逻辑，也就是说任一供应体的对父供应体进行最优选择的逻辑与其子供应体对其进行最优选择的逻辑是一致的。

这个设计理念在于，任一供应体对不同父供应体贡献的分量之总和虽然是不变的，但是最优化的逻辑会逼迫其子供应体为了最优化可能放弃对该供应体贡献分量从而威胁该供应体的预期部分量 x 减小，所以在预期而非当时的图景中供应体会进行理性选择以保证未来的部分量 x 尽可能不下降，因此只需要计算不同执行 f 带来的预期部分量 x ，尽管这不改变执行策略 f 的供应体当前的部分量 x ，但会减少供应体未来的部分量 x 下降的风险。

另一个问题是具体执行 f 的选取范围，对于“排除父体”策略的预期部分量 x ，在排除某个父供应体后对其余各父供应体分别计算部分量 x_i 加总为 $X = \sum x_i$ 即为某个具体“排除父体”策略的预期效用，对于不同“排除父体”的具体执行 f_i 分别计算 $\sum X_i$ 求使 $\max\{\sum X_i\}$ 成立的 f ，该 f 即为将执行的最优策略（仅考虑排除型策略）。

对于“新入父体”策略的预期部分量 x ，“新入父体”涉及到与新父供给体的边界进行“协商”从而共同合并的理性选择，因而需要考虑多体博弈的问题环境。这不同于排除型策略，排除型策略偏向于非合作型博弈，仅需组织体考虑自身最优即“脱离合作”，而新入型策略必须在参与合作的各方均判定最优下达成。

合作博弈情形下有必要对预期部分量 x 计算方法进行修正，不同于排除性策略在必须排除某个父供给体下寻求相对最优，合作博弈对寻求哪些与多少供给体达成合作是自由的，沿用排除型策略的预期部分量 x 算法会使供给体倾向于达成尽量多尽量大的合作（增加部分量极大的父供给体）而不现实，因此我们修正部分量 x 的计算，考虑一个父供给体可能同时向多个子供给体提供预期部分量 x ，因此在计算该父供给体的部分量 x 时，折以权重 α 以表示该父供给体考虑子供给体数量后可以提供的预期部分量，其中 α 为该父供给体的子供给体总数，我们将其描述为如下式子：

$$(式6) \quad \text{加权部分量 } x_i' = \frac{\text{父供给体 } i \text{ 的部分量 } x}{\text{父供给体 } i \text{ 的子供给体总数 } \alpha_i}$$

加权部分量 x_i' 也可用于排除型策略, 加权后的父供给体部分量 x 只要沿用比较部分量 x 之和的优化逻辑, 仍能保持最优执行 f 取 $\max\{\sum X_i\}$ 的逻辑。出于统一计算, 设计自发的合作型博弈的对流簇应采用类似加权部分量的操作, 以防止不切实际的过广合作; 但若对流簇中只设计排除型更新策略亦或采用随机生成新合作等方式作为新入型策略, 则加权部分量会带来额外的计算量负担, 不是一种较优选择。下文默认在更新策略计算中加权部分量 x_i' 代替部分量 x , 若无特殊提示。

展开合作博弈需要对供给体可以与哪些供给体选择进行合作的范围作出规定, 就现实情况来说, 供给体在很大的范围内(全国或全世界)——考虑与其他某个供给体的合作是不现实的, 其往往因环境局限在一个相对小的范围内物色合伙人。“相对小的范围”实际上可解析为“相邻的尺度”, 即供给体总是寻求与相近规模的其他供应体寻求合作, 例如国家与国家合作, 大公司与大公司合作, 个体户与个体户合作, 不同层级的合作如大公司与个体户的合作实际上是个体户所属行业与大公司的合作或大公司内小部门与个体户的合作。

该理念表述为操作即: 给定尺度范围参数 σ (表示流动性) 和供给体的尺度位置 α_i (i 个供给体), 即可给出 i 个博弈集合 A_i , 其中每个集合均包含 $(\alpha_i - \sigma, \alpha_i + \sigma)$ 内的全体其他供给体, 进而定义二元合作博弈, 对博弈集 A_i 和 A_j , 如果有关系式:

$$(式7) \quad \begin{cases} \alpha_i + \delta \geq \alpha_j, & i < j \\ \alpha_j - \delta \leq \alpha_i, & j > i \end{cases}$$

则认为该对二元博弈可能存在一个合作, 即有使 A_i 和 A_j 形成纳什均衡合作的可能。考虑到多元博弈形成纳什均衡合作的可能, 对序列 $A_i(i=1,2,\dots,n)$ 如果有关系式:

$$(式8) \quad \begin{cases} \forall \alpha_j, & \alpha_j + \delta \geq \max\{\alpha_k | 1 \leq k \leq n\}, & 1 \leq j \leq n \\ \forall \alpha_m, & \alpha_m - \delta \leq \min\{\alpha_p | 1 \leq p \leq n\}, & 1 \leq m \leq n \end{cases}$$

则认为该对 N 元博弈可能存在一个合作, 即有使序列 A_i 中所有供给体形成纳什均衡合作的可能。对于某个寻求合作的供给体这些博弈对就生成了一个博弈策略的集合, 问题是对该供给体而言如何选择最优博弈策略? 由于某个供给体对另一供给体的最优合作并不一定是另一供给体的最优合作方式, 所以孤立从供给体自身寻求最优合作必然不可行, 而全局性地根据所有供给体的博弈策略集合推导哪些会成为最优均衡则是耗时大不易计算的, 笔者采取一种折中的方法, 每个供给体首先根据合作达成带来的效用为不同的博弈进行排名, 由最高到最低排列, 在排列过程中将效用不低于排除型策略中最高效用的记为“可行合作”(这要求事先计算所有排除型策略的效用值), 可行合作是缩小后的博弈策略集并呈效用由高到低排列, 效用最高者记为最优可行合作, 每个供给体在可行合作的序列内从高到低依次判定该可行合作是否同样是合作其他方的最优可行合作, 若不是, 则去除该可行合作将效用次高者记为该供给体的最优可行合作; 若是, 则该次可行合作达成。

一个显然的问题是, 如何比较排除型策略和新入型策略的效用? 这两类策略内部进行比较的方法已给出, 但由于“可行合作法”我们需要比较两类策略的效用, 所以必须对这个问题进行定义, 另外由于更新策略最终只能选定某一类的某一个具体执行, 而当两类策略均有一个好的执行时比较、判定更优者就是必要的。对于排除型策略设 $\max\{\sum X_i\}_{t+1}$ 作为预期中

执行以后的最优执行, 使供给体当前 t 时刻的 $\sum X_i$ 作为基数有效用比较系数 $\Delta U = \frac{\max\{\sum X_i\}_{t+1}}{\sum X_i}$;

另考虑新入型策略, 考虑预期中添加新父供给体以后同样有类似于排除型策略的全体父供给

体部分量 x 之和 $X_{t+1} = \sum x_i$, 使供给体当前 t 时刻的 $\sum X_i$ 作为基数, 类推有效用比较系数 $\Delta U = \frac{X_{t+1}}{\sum X_i}$ 。显然基于效用比较系数 ΔU 最大化得到的具体执行 f 是符合 $\max\{U(f)|f \in F_s\}$ 假设的。

1.3.3 需求量更新策略 F_d 设计

利用为供给体设计的诸多发明我们可以完成对需求体的具体设计。需求体不同于供给体的主要性质在于需求体的更新策略 F_d 是父需求体对子需求体的选择。笔者认为需求体同样遵循效用最大化的理性人假设, 该种策略逻辑对应于现实中“批发—零售”商品体系追求商品销量的最大化。因此, 不妨设 $f \in F_d$ 为需求体更新策略的某个具体执行, 可将供给体更新策略的最终敲定策略定为 $\max\{U(f)|f \in F_d\}$, 其中 U 为需求体更新的效用函数。

类似供给体的效用函数 U_s , 同样将 U_d 设计为需求体上的预期部分量 x , 进而讨论 $F_d = \{\text{排除子体, 新入子体}\}$ 的具体实现。先讨论排除型策略, 父需求体排除子需求体实际上是削减自身的部分量 x , 但类比于上文提到的最优化逻辑, 只要在排除子需求体的选择过程中引入最优化机制, 那么父需求体排除子需求体虽然在当下削减了其部分量 x , 但考虑到其最优化排除的子需求体相比于排除其他子需求体在未来会带来更多预期部分量 x , 这种排除在系统要求父需求体必须排除某个子需求体时也是理性的。由供给体排除型策略的计算类推, 某一具体执行 f (排除型) 的预期效用可表述为 $X = \sum x_i$ (x_i 为某个子需求体的部分量 x), 使 $\max\{\sum X_i\}$ 成立的即为仅考虑排除型策略的最优执行 f 。

另考虑对子需求体的新入型策略, 若说对父供给体的新入型策略是“合作博弈”, 则对子需求体的新入型策略就是“拍卖博弈”。就现实经济活动而言, “零售—批发”商品分发体系的向下分配, 是在同尺度级分销商间竞争中实现的, 若将同尺度间分销商对下级分销商的优化选择行为假设为父需求体对子需求体进行最优选择的主要形态 (这个假设是合理的, 容易理解父需求体“新入”某个子需求体实际上是产生一个新的父—父需求体扩充当前父需求体的预期部分量 x 的增长来源), 那么对某两个父需求体而言, 如果对某个特定子需求体的选择同时是双方的效用最大化选择, 就会构成一个冲突。

对冲突情况的解决需考虑发生冲突的子需求体是如何产生的, 由于子需求体实际上是父需求体们共同的“下级市场”, 也即父需求体们的“边界”交集 (这个边界必须足够小以保证它事实上是下级市场, 即边界的尺度在父需求体的“同尺度判定范围”以外), 由此定义自然引出寻找子需求体的方法: 同尺度父需求体的边界 (取交集) 即为子需求体。对这些子需求体的每一个, 若将其父需求体理解为“上游供应商”, 与其父需求体同尺度但不属于其父需求体行列的其他更大需求体即可作为“上游供应商”的潜在竞争者。基于这种理解, 对“新入型策略”只需考虑作为潜在竞争者的父需求体们对子需求体的抢占式争夺。

这实际上是一种拍卖, 每个潜在父需求体对新入某个子需求体有对应的预期效用, 每个子需求体因此“待价而沽”, 而冲突情况则是新入某一特定子需求体成为多个潜在父需求体的最优选择时的现象。解决冲突情况只需计算出, 每个潜在父需求体预期的为取得新入子需求体所带来效用的“最大接受价格”, 进而以各潜在父需求体的最大接受价格形成一次拍卖, 价高者得。

不妨认为给定需求体的尺度范围参数 ε (表示信息流动性) 和尺度位置 β_i (i 个需求体), 称包含于 $(\beta_i - \varepsilon, \beta_i + \varepsilon)$ 中的全体需求体为 $a_{ij}(j=1,2,\dots,n_i)$, 称给定需求体为 a , 继而可给出 i 个博弈集合 A_i 表示全体 a_{ij} 中满足以下关系的需求体 $b_{ij}(j=1,2,\dots,m_i)$:

$$(式9) \quad \begin{cases} \forall j_1 j_2, b_{ij_1} \in \bigcap_{j=j_2}^{j_2+1} a_{ij} \vee b_{ij_1} \in a_{i1} \cap a_{i(n_i)}, j_1 \in [1, m_i], j_2 \in [1, n_i - 1] \\ \forall j_1 j_2, b_{ij_1} \notin a \cap a_{ij_2}, j_1 \in [1, m_i], j_2 \in [1, n_i] \end{cases}$$

以上定义了博弈集合 A_i 所含需求体 b_{ij} ，每个这样的需求体都属于与给定父需求体的同尺度其他父需求体的边界，并且不属于给定父需求体的边界，进而可定义需求体间的二元拍卖博弈，对博弈集合 A_i 和 A_j 如果有关系式：

$$(式10) \quad \begin{cases} \beta_i + \varepsilon \geq \beta_j, & i < j \\ \beta_j - \varepsilon \leq \beta_i, & j > i \end{cases}$$

则认为**这对二元博弈可能存在一个拍卖**，即有使 A_i 和 A_j 形成纳什均衡拍卖的可能。考虑到多元博弈形成纳什均衡拍卖的可能，对序列 $A_i(i=1,2,\dots,n)$ 如果有关系式：

$$(式11) \quad \begin{cases} \forall \beta_j, \beta_j + \varepsilon \geq \max\{\beta_k | 1 \leq k \leq n\}, & 1 \leq j \leq n \\ \forall \beta_m, \beta_m - \varepsilon \leq \min\{\beta_p | 1 \leq p \leq n\}, & 1 \leq m \leq n \end{cases}$$

则认为**这对 N 元博弈可能存在一个拍卖**，即有使序列 A_i 中所有供给体形成纳什均衡拍卖的可能。每场拍卖各方必然有各最大接受价格，而最大接受价格是对取得成本与成交收益的权衡，取得成本实际上是可能放弃了更优成交的机会成本，则最大接受价格价格是成交收益对机会成本的差额，为计算最大接受价格我们引入拍卖成交后的预期部分量 x 的计算法，若父需求体的部分量为 x_1 ，预加入的子需求体的部分量为 x_2 ，则成交后创建的父—父需求体会为父需求体带来 $\frac{x_1+x_2}{2}$ 的预期部分量即成交收益，机会成本是放弃了更优者（由于竞价失败而未取得）带来的预期收入减少。若对每个父需求体事先将每场拍卖带来的收益由高到低排列，且总是优先参加高收益拍卖（效用最大化），第一场拍卖即最高收益拍卖，且拍卖失败后将该场拍卖移出队列并以次高收益拍卖作为最优拍卖，那么每一场拍卖的机会成本为零，是拍卖队列里的最优拍卖（实际上将机会成本预设表示成队列顺序）。由此最大接受价格可表示为 $\frac{x_1+x_2}{2}$ ，每场拍卖以最大接受价格最高者赢得竞拍，生成一个对应的“新入型”执行。

关于需求量两种更新策略的效用比较，仍类比供给量更新策略的效用比较系数 ΔU 法，对新入型策略，计算其达成竞拍增加父—父需求体带来的预期部分量 x 增加；对排除型策略，计算其。

2.1 经济系统框架

在 1.3 节刻画的对流簇是对宏观量模拟微观组织细节的工具，接下来借此工具构建一个模拟的宏观经济系统。本文旨在模拟疫情封锁带来的宏观经济系统变动，疫情封锁主要是行政机关主导的对交通系统的直接阻断和系统中各级组织体因此产生的边界封闭。

笔者认为两部门模型足以模拟疫情封锁中的市场动态，以工厂生产的输入输出为切入点，由两部门产出模型 $Y=L+K$ 认为应模拟三类市场，商品和资料市场 M_G ，劳动力市场 M_L ，资本市场 M_K ，每个市场对应一个对流簇的模拟，三个对流簇有关系式：

$$(式12) \quad S_{(M_G)} = S_{(M_L)} + S_{(M_K)}$$

其中 M_G 的供给量是企业提供的社会商品和生产资料供应总量， M_G 的需求量是家庭的社会商品需求总量与企业的社会生产资料需求总量之和； M_L 的供给量是家庭提供的社会劳动力供应总量， M_L 的需求量是企业的社会劳动力需求总量。 M_K 的供给量是家庭提供的社会资本供应总量， M_K 的需求量是企业的社会资本需求总量。若以经济学语言解析（式 12）的意义，（式 12）可简化为 $S_Y=S_L+S_K$ ，其中 S_Y 为产出、 S_L 为劳动力成本、 S_K 为设备成本，该产出模型对应的分配模型为 $D_Y=D_C+D_D$ ，其中 D_Y 为分配（对应 S_Y ）、 D_C 为消费需求（对应 S_L ）、

D_0 为投资消耗（对应 S_k ），以经济学对象解释对流簇的经济量。

给定宏观量，需预设某个宏观分布 F_1 使宏观量的总和均分到各“最小组织体”（原子化的家庭或个体，其不属于任何组织层序），需假设某个自组织分布 F_2 生成宏观量的从最小组织体到最大组织体的层次结构，形成一个初始经济系统。该初始经济系统随系统总时间 T 向前演化，每到达一个新时刻 $T+1$ ，各对流簇按照（式 4）更新宏观量值（参数 δ_1 与 δ_2 事先确定），因此带来的宏观量差额按照预设的宏观分布 F_1 分摊到各最小组织体，并对各对流簇的全体组织体执行更新策略改变宏观量的结构细节。

为理解封锁的经济效应，需要定义对经济系统的观测量与观测事件（判定观测量是否满足某些条件的表达式）。观测量是由宏观量（簇量）或微观量（组织体上的部分量）生成的有现实经济解释的量，生成方式包括：宏观量/微观量不变但给出其现实经济解释、观测量间联立导出的系数、观测量有关时间导出的速率观测量、观测量的特征值（平均值方差等）。观测事件是对观测量满足某些条件的关系表达式，生成方式包括：两个观测量的大小关系、观测量是否达到极值。据此定义，我们引入了观测量和观测事件表（见附录表 1-2）。

为理解封锁带来的边界变动效果，需要定义对边界行为的观测量与观测事件。观测量是由边界的基本行为量（减少了多少边界，增加了多少边界）以及边界状态量（上文提到的开放度和可分度）生成的基于组织体计算的量，生成方式包括：给出边界行为量或边界状态量、观测量间联立导出的系数、观测量有关时间导出的速率观测量、观测量的特征值（平均值熵值等）。观测事件是对观测量满足某些条件的关系表达式，生成方式包括：两个观测量的大小关系、观测量是否达到极值。据此定义，我们引入了观测量和观测事件表（见附录表 3-4）。

封锁下的经济效应和边界变动效果是一体两面的，为衡量与检验这两种效应的相关关系，设计综合观测事件表（见附录表 5）。

2.2 封锁策略设计

前文已描述一个疫情前的综合经济系统，现讨论对封锁策略的设计理念及具体方案。封锁策略假定是由某些政治实体展开的，大尺度的政治实体如国家，小尺度的政治实体如镇政府都具有对其境内组织体展开封锁的能力。封锁措施带有一定组织方向，既可由小尺度向大尺度展开，亦可由大尺度向小尺度收缩。封锁措施的组织形式与政体密切相关，分权式设计强的政体执行封锁策略的同一性连贯性较弱，集权式设计强的政体同一性连贯性较强。

由此可定义一般封锁策略 L 的三个维度：尺度 L_s ，方向 L_d ，连贯性 L_c ，给定三个维度的值即对应一个特定封锁策略。其中，尺度 L_s 的数值与事先划定的尺度有关，例如若事先划定了“城市—区域—国家”的数量级则尺度 L_s 可取三个值：城市、区域、国家；方向 L_d 有两个值，向上（顶）或向下（底）；连贯性 L_c 包括两项，一个连贯数值 $L_c(a)$ ，对应当前组织体上的封锁 L 的连贯性强度，另一个随机偏差 $L_c(\epsilon)$ ，对应传导下去的下一个封锁相较于当前封锁 L 的偏差， $L_c(\epsilon)$ 取标准正态分布， $L_c(a)$ 与 $L_c(\epsilon)$ 符合如下关系式：

$$(式 13) \quad L_c(a)_{t+1} = L_c(a)_t + L_c(\epsilon), \quad L_c(\epsilon) \sim \text{Norm}(0,1)$$

疫情中的封锁政策实践是，封锁需要考虑国家国情、民众意愿、经济增长压力、物资供应等，因而在具体践行封锁时并非执行单一的封锁，而是多元化有侧重的封锁；同时封锁措施不论目的，但统一都可实现为对边界的阻隔和对流动性的压抑，借此我们对封锁在对流簇组织体中的具体行为做出定义：封锁包含长期破坏与短期阻隔，长期破坏 L_1 是指不可逆地破坏某个组织体使其分裂为多个子组织体且不可重建，短期阻隔 L_2 是对组织体的新入型更新策略进行抑制，减小其尺度范围参数（流动性），表达式如下：

(式 14)

(式 15)

这两类封锁行为均有一个倾向函数 θ , θ 函数若取 `random()` 表示随机选择组织体和流动性抑制比例, 随机性遵从均匀分布; 取 `bias(x)` 表示根据部分量 x 改变倾向, x 相对越大则越优先封锁, 由此我们设计了封锁策略表 (见附录表 6)。

3.1 实验设计

我们的实验

参考引用

【1】“大封锁”！读懂新冠疫情下的全球经济走势.商业观察. 2020,(07)34.
 【2】戴维·莫利(王鑫 译).后疫情时代的全球化：封锁中的流动性.国际新闻界. 2021,43(03)6-18.
 【3】杨欣.行政应急措施应遵循比例原则——以疫情防控期间封锁措施为例.财富时代. 2020,(12).227-230.
 【4】

附录

观测量	类别	生成方式	经济学解释	观测量	类别	生成方式	经济学解释
L	宏观基本量	$L = S_{(M_L)}$	社会劳动力要素总投入	K	宏观基本量	$K = S_{(M_K)}$	社会资本要素总投入
l	微观基本量	$l = \text{部分量 } x_{(S,M_L)}$	工资	k	微观基本量	$k = \text{部分量 } x_{(S,M_K)}$	生产资料及库存
C	宏观基本量	$C = D_{(M_L)}$	社会总消费支出	D	宏观基本量	$D = D_{(M_K)}$	社会总折旧支出
c	微观基本量	$c = \text{部分量 } x_{(D,M_L)}$	消费	d	微观基本量	$d = \text{部分量 } x_{(D,M_K)}$	折旧
L'	宏观派生量	$\frac{L_{t+1} - L_t}{L_t}$	工资增长率	K'	宏观派生量	$\frac{K_{t+1} - K_t}{K_t}$	投资增长率
C'	宏观派生量	$\frac{C_{t+1} - C_t}{C_t}$	物价增速	D'	宏观派生量	$\frac{D_{t+1} - D_t}{D_t}$	社会折旧率
UE	宏观派生量	$\frac{L'_t}{L'_{t+1}}$ 或 $\frac{C'_t}{C'_{t+1}}$	失业增长率 ^①	Y	宏观派生量	$L + K$ 或 $C + D$	经济总产出
IR	宏观派生量	$\frac{K'_t}{K'_{t+1}}$ 或 $\frac{D'_t}{D'_{t+1}}$	利率增速 ^②	Y'	宏观派生量	$\frac{Y_{t+1} - Y_t}{Y_t}$	经济增长率
l'	微观派生量	$\frac{l_{t+1} - l_t}{l_t}$	区域工资增长率	k'	微观派生量	$\frac{k_{t+1} - k_t}{k_t}$	区域投资增长率
c'	微观派生量	$\frac{c_{t+1} - c_t}{c_t}$	区域物价增速	d'	微观派生量	$\frac{d_{t+1} - d_t}{d_t}$	区域折旧率
ue	微观派生量	$\frac{l'_t}{l'_{t+1}}$ 或 $\frac{c'_t}{c'_{t+1}}$	区域失业增长率 ^①	y	微观派生量	$l + k$ 或 $c + d$	区域经济产出
ir	微观派生量	$\frac{k'_t}{k'_{t+1}}$ 或 $\frac{d'_t}{d'_{t+1}}$	区域利率增速 ^②	y'	微观派生量	$\frac{y_{t+1} - y_t}{y_t}$	区域经济增长率

表 1 主要观测量表

①失业增长率的推导采用菲利普斯的“工资变动率—失业”模型以及现代的通胀—失业替代关系模型；②利率增速的推导采用凯恩斯的投资的利率决定模型。

观测事件	表达式	经济学解释	观测事件	表达式	经济学解释
就业状况恶化	$ue > 0$	失业率上升，就业率下降	经济前景低迷	$ir > 0$	利率提升，投资增长率下降
就业状况好转	$ue < 0$	失业率下降，就业率上升	经济前景高涨	$ir < 0$	利率下降，投资增长率上升

表 2 主要观测事件表^③

③限于篇幅，不对宏观观测事件做推导，宏观观测事件的推导过程类同于微观观测事件的推导过程。

观测量	类别	生成方式	解释	观测量	类别	生成方式	解释
Inc	行为基本量	$\bigcup_{i=1}^n P^{-i}(x)$	组织体上边界的增长数				
Dec	行为基本量						

表 3 边界主要观测量表^④

④在该量表中定义 x 为某个组织体， $P^{-1}(x)$ 表示对 x 逆用一次划分方式 P 得到 x 的所有子组织体， $\bigcup_{i=1}^n P^{-i}(x)$ (其中 n 为 x 的组织层序)表示对 x 递归运用 P^{-1} 划分得到的全体组织体； $P(x)$ 表示对 x 使用一次划分方式 P 得到 x 的所有父组织体， $\bigcup_{i=1}^n P^i(x)$ (其中 n 为 x 的组织层序)表示对 x 递归运用 P 划分得到的全体组织体。 $[y]$ 表示：求表达式 y 中所含组织体数目。

观测事件	表达式	解释	观测事件	表达式	解释

表 4 边界主要观测事件表