2025 年 4 月 22 日 星期二

Lec 10

Innovation and R&D

- Introduction

  R&D 的三个阶段

  - Basic research：学习基本知识
  - Applied research：设计
  - Development：将产品和工艺投入商业使用

  两类创新

  - 工艺创新：相同的成本，生产质量更高的产品；相同的质量，生产成本更低
  - 产品创新：创造新的产品
  - 本节关注工艺创新

- 市场结构与创新

  假定有一个厂商（研究实验室）进行了 R&D 并且为创新申请了专利

  研究厂商不能直接利用专利生产，但可以将专利授权给至多一个产业中的经济

  如果厂商选择应用创新，则其边际成本从$\bar{c}$减少至$\underline{c}$

  市场需求函数为$D(p)$

  假设时间无穷且连续，利率为 r

  问：垄断厂商或完全竞争厂商愿意为创新支付多少？对于研究厂商有足够的激励去进行 R&D 吗？

  记边际成本为 c 时，每期的垄断价格为$p^m(c)$，其中$p^m(c)$是$\max_p (p-c)D(p)$的解，相应的垄断利润$\Pi^m(c)=(p^m(c)-c)D(p^m(c))$，如果每期利润为 v，则折现后的当期利润为$V=\int_0^\infty e^{-rt}v=\frac{v}{r}$

  首先考虑垄断的情况

  - 由于创新降低了边际成本，每一期的 surplus 为$v^m=\Pi^m(\underline{c})-\Pi^m(\bar{c})$，贴现的 surplus 为$V^m=\int_0^\infty e^{-rt}v^m=\frac{v^m}{r}$

- 由包络定理，有 $\frac{d\Pi^m}{dc} = \frac{\partial \Pi^m}{\partial p}\frac{dp^m}{dc} + \frac{\partial \Pi^m}{\partial c} = -D(p^m(c))$
- 因此，有 $V^m = \frac{1}{r}[\Pi^m(e) - \Pi^m(\bar{c})] = \frac{1}{r}\int_c^{\bar{c}}\left(-\frac{d\Pi^m}{dc}\right)dc = \frac{1}{r}\int_c^{\bar{c}} D(p^m(c))dc$

再考虑完全竞争市场的情况

- 很多厂商以边际成本$\bar{c}$生产同质的商品
- 起初为 Bertrand 均衡，所有厂商获得 0 利润
- 假定一个企业购买了创新，将降低其边际成本至$\underline{c}$

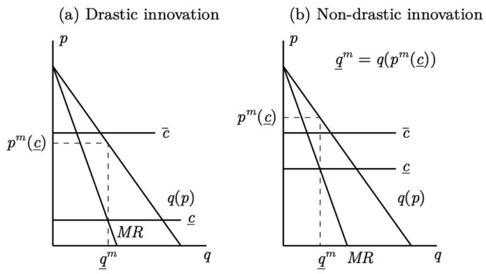

Figure 1: Drastic and non-drastic innovations

- 两类创新

  非剧烈创新：创新者仍然面对竞争，即$p^m(\underline{c}) > \bar{c}$

  剧烈创新：创新厂商称为垄断厂商，即$p^m(\underline{c}) \leq \bar{c}$

  本节考虑非剧烈创新

- Bertrand 均衡给出市场价格为$\bar{c}$，创新者的利润为$\Pi^c = (\bar{c} - \underline{c})D(\bar{c})$，因此，创新的动机为 $V^c = \frac{1}{r}(\bar{c} - c)D(\bar{c}) = \frac{1}{r}\int_{\underline{c}}^{\bar{c}} D(\bar{c})dc$，由于$\bar{c} < p^m(c)$，我们有 $V^m = \frac{1}{r}\int_{\underline{c}}^{\bar{c}} D(p^m(c))dc < \frac{1}{r}\int_{\underline{c}}^{\bar{c}} D(\bar{c})dc = V^c$

- 社会计划者的创新动机=总福利的改变，即 $V^s = \frac{1}{r}\int_{\underline{c}}^{\bar{c}} D(c)dc$
- 由于$D(\bar{c}) < D(c), \quad \forall c < \bar{c}$，我们有$V^c < V^s$
- 综上，我们有$V^m < V^c < V^s$，可知相比于社会福利最大化的角度，对于厂商的创新激励总是过少；厂商在垄断时有更少的激励去创新
- 对于完全竞争市场中的厂商而言，创新可以把其从收支平衡拉向正利润；对于垄断厂商而言，创新只是把原来的垄断利润“替换”为了更大的垄断利润（替代效应）；对于社会计划者而言，除了厂商自己的利润，还考虑了创新对消费者带来的福利，因此其对于创新的激励最大

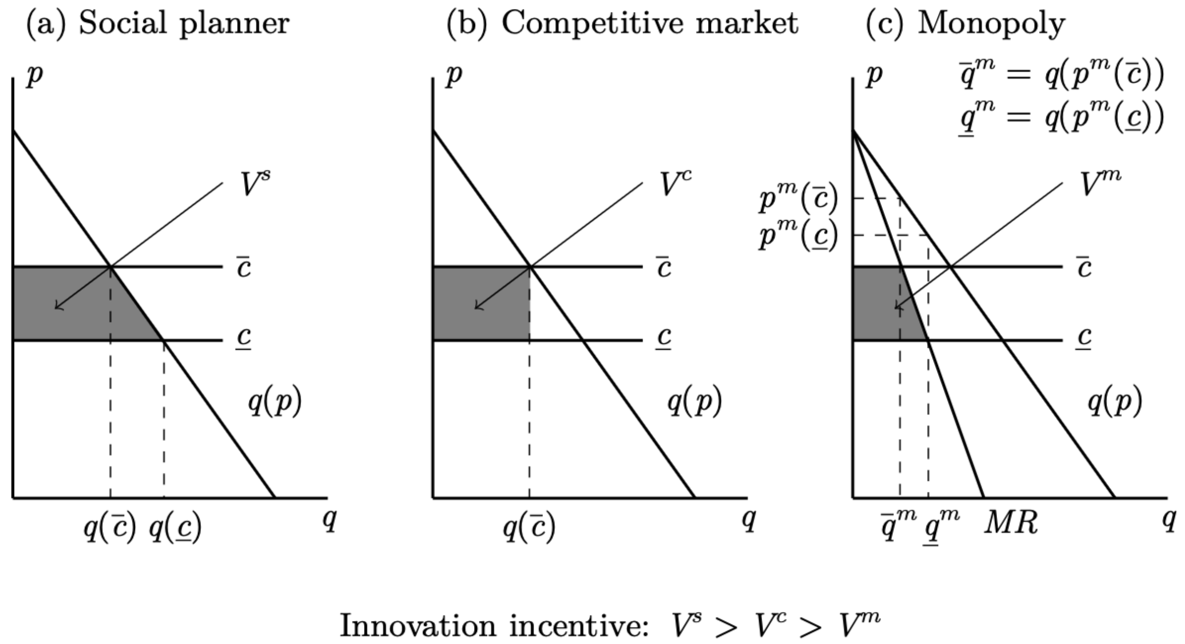

Figure 2: Incentives to innovate for a non-drastic innovation

- 寡头垄断下的创新

  我们想证明，创新的激励与产商数量呈现倒 U 型曲线关系

  考虑线性反需求函数$P = a - Q$, $a > 0$下的 Cournot 模型

  假定 n 个厂商，初始边际成本为$\bar{c} < a$

  创新后，厂商边际成本减少为$\underline{c}$

  对于非剧烈创新，我们要求$\dfrac{a + c}{2} > \bar{c}$，即$a - \bar{c} > \bar{c} - \underline{c}$，因此我们用$\psi$度量创新的相对大小，其中$\psi = \dfrac{\bar{c} - \underline{c}}{a - \bar{c}}$, with $0 < \psi < 1$

  Cournot 模型中，n 个厂商，厂商 i 的边际成本为c_i时，厂商 i 的均衡利润为

  $\pi_i^* = \left(\dfrac{a - nc_i + \sum_{j \neq i} c_j}{n + 1}\right)^2$，由此可以算出创新者创新前后的利润

  $$\pi_{pre} = \left(\frac{a - \bar{c}}{n + 1}\right)^2, \quad \text{and} \quad \pi_{post} = \left(\frac{a - n\underline{c} + (n - 1)\bar{c}}{n + 1}\right)^2$$

  我们以创新后的利润增量度量厂商的创新动机，即

  $$\Pi(n) = \pi_{post} - \pi_{pre} = \frac{n}{(n + 1)^2}(2 + \psi n)\psi(a - \bar{c})^2$$

  再比较随着 n 增加，创新动机的变化：

  $\Pi(n + 1) - \Pi(n) = \dfrac{(2n^2 + 4n + 1)\psi - 2(n^2 + n - 1)}{(n + 1)^2(n + 2)^2}\psi(a - \bar{c})^2$，因此$\Pi(n + 1) > \Pi(n)$,

若$\psi > \hat{\psi}(n)$，其中$\hat{\psi}(n) = \dfrac{2(n^2+n-1)}{2n^2+4n+1}$，随 n 递增。这表明，当创新的相对大小足够大的时候，厂商数量上升会提高创新激励

Intuition：厂商数量 n 增加有两个影响

- 竞争效应表明更多的厂商减少了创新和非创新厂商的利润
- 存在创新厂商的竞争优势，更多的厂商意味着更多的对手在用不经济的方式生产
- 这解释了为什么创新激励随着厂商数量先增大后减小

- Monopoly threatened by entry

现在假设不只一个厂商可以创新

考虑垄断厂商面临进入威胁的情况

厂商 1 是现任公司，以边际成本$\bar{c}$生产，得到垄断利润$\Pi^m(\bar{c})$

厂商 2 是进入者，非常不经济（边际成本很高），但可以通过创新进入市场

两个厂商都可以选择创新，但只有一个厂商最终能够实现创新（专利）

如果无人创新，现任公司仍然取得$\Pi^m(\bar{c})$，进入者获得 0 利润

如果现任公司创新，其获得每期利润$\Pi^m(\underline{c})$，进入者获得 0 利润

如果进入者创新，记$\Pi^d(\bar{c},\underline{c})$和$\Pi^d(\underline{c},\bar{c})$为垄断者和进入者的每期利润（第一个参数为本厂商的边际成本，第二个参数为对方的边际成本）

创新对于现任公司（incumbent）和进入者（entrant）的价值为

$$V_I = \frac{1}{r}(\Pi^m(\underline{c}) - \Pi^d(\bar{c},\underline{c})),\quad V_E = \frac{1}{r}\Pi^d(\underline{c},\bar{c})$$

垄断者更愿意创新，如果$\Pi^m(\underline{c}) \geq \Pi^d(\bar{c},\underline{c}) + \Pi^d(\underline{c},\bar{c})$

- 若产品是同质的，这个条件说明垄断利润不小于两个竞争厂商的联合利润，这显然成立
- 若产品是充分差异化的，则这个条件可能不满足

  此时垄断者有更强的动机去创新，因为竞争会降低利润。这也成为效率效应（efficiency effect）。特别地，产品同质时，垄断利润$\Pi^m(\bar{c})$比竞争利润$\Pi^d(\bar{c},\underline{c})$更大

- R&D 竞争和合作

R&D 会产生溢出效应，因此创新的厂商有动机去在 R&D 中合作而非竞争

考虑 Cournot 双头垄断，逆需求函数$P = 1 - Q$

两个厂商都可以投资 R&D 以减少边际成本

假定通过投资x_i，厂商 i 可以减少边际成本为$c_i = c - x_i - \beta x_j$，其中$0 \le \beta \le 1$捕捉了 R&D 的溢出效应强度

R&D 的成本为$r(x_i) = \frac{x_i^2}{2}$

考虑两个厂商在 R&D 上竞争/合作两种情况。在两种情况中，厂商都就产量进行竞争

Case1：竞争

- 考虑两阶段博弈

  厂商同时选择 R&D 决策x_1和x_2

  厂商同时选择产量q_1和q_2

- 逆向推断法求解

  Stage2 中，给定x_1和x_2，厂商 i 的利润为$\pi_i = (1 - q_i - q_j - c_i)q_i - r(x_i)$

  厂商 i 的最优响应函数为$R_i(q_j) = \frac{1 - c_i - q_j}{2}$，均衡产量为 $q_i = \frac{1 - 2c_i + c_j}{3} = \frac{1 - c + (2 - \beta)x_i + (2\beta - 1)x_j}{3}$，均衡价格为$P = \frac{1 + c_i + c_j}{3}$

  厂商的产出与 R&D 正相关，因为其降低了边际成本

  当$\beta < 1/2$时，竞争对手的 R&D 对于厂商的产出为负相关，反之亦然

  厂商 i 的利润可以写为$\pi_i = q_i^2 - r(x_i) = \frac{(1 - c + (2 - \beta)x_i + (2\beta - 1)x_j)^2}{9} - \frac{x_i^2}{2}$

  在 stage1，最优选择x_i取决于 FOC 条件$\frac{\partial \pi_i}{\partial x_i} = 0$，即 $2(2 - \beta)\frac{1 - c + (2 - \beta)x_i + (2\beta - 1)x_j}{9} - x_i = 0$，这给出了厂商对于竞争对手的最优相应

  以上两个等式可以解出均衡 R&D 水平 $x_1^{NC} = x_2^{NC} = x^{NC} = 2(1 - c)\frac{2 - \beta}{9 - 2(2 - \beta)(1 + \beta)}$

Case2：合作

- 考虑两阶段博弈

  厂商同时选择 R&D 决策x_1和x_2

  厂商同时选择产量q_1和q_2

- Stage2 的均衡与前相同

- Stage1 中，厂商选择x_1和x_2来最大化联合利润
  $$\pi_1 + \pi_2 = \sum_{i \neq j}^{2} \left[\frac{(1 - c + (2-\beta)x_i + (2\beta - 1)x_j)^2}{9} - \frac{x_i^2}{2} \right]$$
- x_i的 FOC 为$\frac{\partial(\pi_i + \pi_j)}{\partial x_i} = \frac{\partial \pi_i}{\partial x_i} + \frac{\partial \pi_j}{\partial x_i} = 0$，第一项与 Case1 的 FOC 相同，第二项捕捉了 R&D 溢出效应的外部性，即$2(2\beta - 1)\frac{1 - c + (2-\beta)x_j + (2\beta - 1)x_i}{9}$

  当$\beta < 1/2$时外部性是负的，反之亦然
- 考虑对称均衡$x_1^C = x_2^C = x^C$，我们得到$x^C = \frac{2(1-c)(1+\beta)}{9 - 2(1+\beta)^2}$，R&D 投入$x^C$随着$\beta$递增

下面考虑厂商是否可以通过加入 R&D 合作提高利润

- R&D 竞争时，$\pi^{NC} = \frac{(1-c)^2[9 - 2(2-\beta)^2]}{[9 - 2(2-\beta)(1+\beta)]^2}$
- R&D 合作时，$\pi^C = \frac{9(1-c)^2}{[9 - 2(1+\beta)^2]^2}$
- 可以证明$\pi^C > \pi^{NC}$，说明厂商有动机进行 R&D 合作

- Conclusion：鼓励厂商在 R&D 上进行合作甚至构成 RJV（Research Joint Ventures）是好的政策，可以帮助厂商获得更高的利润，提高产出，降低价格，提高消费者福利