arXiv:2304.12297v1 [econ.TH] 24 Apr 2023

无限重复囚徒困境中的沟通：理论与实验*

Maximilian Andres†

2023年4月25日

摘要

到目前为止，无限重复囚徒困境中的均衡选择理论并不受沟通可能性的影响。为解决这一问题，我们将以下假设纳入该理论：沟通会降低但不会完全消除参与者对另一位参与者遵循合作策略的不确定性。因此，当另一位参与者背叛时，参与者仍会担心合作所带来的收益，即受骗者收益 S；而且，与无沟通的博弈相比，有沟通的博弈更有利于合作。实验室实验的数据以及基于机器学习对沟通内容的评估都支持这一理论。

*JEL*分类代码： C73、C92、D83关键词： 信念、合作、沟通、无限重复博弈、机器学习

*我感谢 Lisa Bruttel、Marco Caliendo、Sebastian Fehrler、Juri Nithammer、Vasilisa Petrishcheva、Tobias Werner，以及波茨坦大学经济学研讨会的参与者所提出的非常有帮助的评论和建议。Birte Prado Brand 提供了出色的研究支持。本研究由德国研究基金会（DFG，德国研究基金会）资助，项目编号为 389447910，对此我深表感谢。本项目已在数据收集开始前于 OSF 进行预注册，参见 https://osf.io/xtmwv/?view_only=81a71835f0ca44019f4897a059825409。

†波茨坦大学。电子邮箱：maximilian.andres@uni-potsdam.de

1 引言

无限重复囚徒困境博弈有助于研究社会困境中的合作。[1] 理论研究考察临界贴现因子的变化 δ^{pd} ，以确定哪些制度更有利或不利于合作（参见Blonski 等人，2011年）。

然而，实验研究表明，这会产生误导性的结果（参见 Dal B´o 和 Fr´echette、2018年及其中的相关文献）。这是因为临界贴现因子δ^{pd} 没有考虑在另一位参与者背叛时进行合作所获得的收益，即受骗者收益 S。临界贴现因子 δ^{pd} 基于这样的假设：参与者确信另一位参与者遵循合作策略。因此，参与者应忽略在另一位参与者背叛时进行合作所获得的收益（S）。Blonski 等人 (2011年）然而通过证明受骗者收益的变化 S 会影响实验室实验中的合作水平，表明参与者确实会考虑受骗者收益 S 。作者通过提出以下解释来说明这一发现：参与者对另一位参与者的策略存在最大程度的不确定性，因此会将受骗者收益纳入考虑 S。[2]

然而，当前文献既没有旨在复现他们的研究，也没有考察这一效应与沟通之间的互动：尽管这种互动可能会导致参与者忽略受骗者收益 S。实验研究表明，沟通增强了受试者对于其他受试者会进行合作的确定性（参见Dvorak 和

[1]该博弈已被用于研究合作，例如寡头垄断（参见 Mailath 和 Samuelson，2006年）、环境政策（参见 Harstad 等人，2022年）、国际关系（参见 Powell，1993年）以及人际关系（参见 Wilson 和 Wu，2017年）。[2]类似地，Dal B´o 和 Fr´echette（2018年）指出，仅关注临界贴现因子的变化 δ^{pd} 会导致对实验室实验中合作水平的不准确预测。在一项元研究中，作者考察了合作的决定因素。为此，他们纳入了所有已知且满足特定条件的实验论文。阶段博弈是一个具有完全监测的二乘二囚徒困境。该博弈要么是一次性的，要么使用随机延续规则重复进行，并且该规则在一个超级博弈期间保持不变。此外，参与者配对在一个超级博弈期间也保持不变。此外，如果能够获得数据，作者只纳入了他们自己的论文或2014年以前发表的研究。这些研究包括：Andreoni 和 Miller（1993年）；Aoyagi 和 Fr´echette（2009年）；Blonski 等（2011年）；Bruttel 和 Kamecke（2012年）；Cooper 等人（1996年）；Dal B´o（2005年）；Dal B´o 等人（2010年）；Dal B´o 和 Fr´echette（2011年、2019年）；Dreber 等人（2008年）；Duffy 和 Ochs（2009年）；Fr´echette 和 Yuksel（2017年）；Fudenberg 等人（2012年）；Kagel 和 Schley（2013年）；Sherstyuk 等人（2013年）。直到最近，在多主体连续时间实验室实验中，Mart´ınez-Mart´ınez 和 Normann（2022年）才改变受骗者收益 S，以区分囚徒困境博弈中的战略不确定性和策略激励。作者发现，受骗者收益的变化 S 确实会影响合作，但仅限于后期超级博弈。

Fehrler，2021年以及其中引用的相关文献）。将这一事实纳入模型表明，只要沟通降低而非消除参与者对于另一位参与者采取合作策略的不确定性，他们就会在意受骗者收益 S。然而，如果沟通消除了这种不确定性，模型则表明参与者会忽视受骗者收益 S。因此，根据该模型，受骗者收益 S对合作的影响取决于沟通对不确定性的影响。这正是有必要将二者结合起来进行研究的原因。[3]

本文通过实验室实验研究了受骗者收益的变化 S 对有沟通和无沟通两种情况下无限重复囚徒困境博弈中合作的影响。为此，实验室实验采用二乘二设计，改变受骗者收益 S 以及受试者是否能够进行沟通。在无沟通的博弈中比较高、低受骗者收益的处理组 S 可能首先会重复Blonski 等人(2011年的研究结果。此外，为检验一旦允许沟通，这一影响是否仍然存在，我们比较有沟通的博弈中高、低受骗者收益的处理组 S 最后，通过 eliciting 受试者的信念并分析沟通内容，或许能够揭示沟通对合作的影响。

我们的结果表明，受骗者收益的变化 S 会影响无限重复囚徒困境博弈中的合作，无论是否存在沟通。首次，与Blonski 等人 (2011年)的研究一致，受骗者收益的增加 S 会提高无沟通的博弈中的合作水平。其次，在存在沟通的情况下，受骗者收益的增加 S 同样会提高合作水平，但总体合作水平更高。与相关文献类似（例如，见Blonski 等人，2011年；Dal B´o 和 Fr´echette，2018），我们得出结论：使用无限重复囚徒困境博弈来确定制度对合作的促进作用、却忽略受骗者收益，并仅考察临界贴现因子的理论研究，在有沟通和无沟通的情境下都可能得出误导性结果，且

[3]类似地，DalB´o 与 Fr´echette (2018) 认为，一旦允许沟通，澄清仅通过考察临界贴现因子的变化 δ^{pd} 来确定合作水平是否充分，是非常有意义的。

忽略受骗者收益 S，仅考察临界贴现因子δ^{pd}，可能会在有沟通和无沟通的情境下产生误导性结果。[4]

为了解释这些结果，我们参考了我们的模型。在我们的模型中，受骗者收益 S 的变化会影响无沟通的博弈中的合作，也会影响有沟通的博弈中的合作，但后者的合作总体水平更高。这是因为，根据我们的模型，沟通会降低但不会消除战略不确定性。[5] 这与数据从两个方面相符。首先，我们使用无监督机器学习算法分析沟通内容，提供了提示性证据，表明受试者在选择行动前确实不确定另一名受试者是否会合作。其次，对信念的分析表明，沟通降低了受试者对其他受试者是否会合作的不确定性。

本文其余部分安排如下。第2节介绍理论。第3节描述实验设计，第4节提出假设。第5节呈现结果，最后在第6节总结。附录补充了本文的理论背景（A）、实验说明（B）、理解题（C）、数据（D），以及相应图中的原始词元（E）。

2 理论

本节介绍模型。在转向模型之前，我们将对阶段博弈和重复程序进行形式化描述。

阶段博弈在标准的囚徒困境 Γ 中，两个参与者 $i \in \{X,\ Y\}$ 同时面临一个选择 a：合作 (C) 还是背叛 (D)，$a_i \in \{C,\ D\}$。如果两个参与者

[4]不同于以往的实验室实验，本文研究了受骗者收益的作用 S 以及信念与沟通之间的互动。以往的实验室实验着重研究维持合作所需的沟通程度（参见Dvorak and Fehrler、2021年）以及沟通促进合作的效应（参见Kartal andM¨uller、2022年）。需要注意的是，不同于本文，Kartaland M¨uller (2022年)提出了一种内生偏好模型，以解释沟通促进合作的效应。[5] 这一解释与日益丰富的相关文献相呼应（例如参见Aoyagi 等人、2022年；Mart´ınez-Mart´ınez andNormann、2022年），这些文献认为战略不确定性是合作的重要原因。

都合作，每个参与者都会获得奖励收益 R。如果两个参与者都背叛，每个参与者都会获得惩罚收益 P。如果一方背叛而另一方合作，背叛者会获得诱惑收益 T，而合作方则会获得受骗者收益 S。囚徒困境 Γ中的阶段博弈收益如表 1a 所示。

	C	D
C	R	S
D	T	P

(a) 原始

	C	D
C	$\frac{R-P}{R-P} = 1$	$\frac{S-P}{R-P} = -l$
D	$\frac{T-P}{R-P} = 1 + g$	$\frac{P-P}{R-P} = 0$

(b) 归一化

表1：囚徒困境 Γ 中行代理人的阶段博弈收益。

继 Rapoport等人 (1965) 的研究之后，囚徒困境 Γ 具有以下条件 $T > R > P > S$ 和 $2 \cdot R > T + S$。条件 $T > R > P > S$ 确保参与者从相互合作中获得的收益高于从相互背叛中获得的收益（$R > P$）。它还保证合作会带来收益较低的风险（$P > S$），因为如果另一位参与者选择合作，每位参与者都有背叛的动机（$T > R$）。条件 $2 \cdot R > T + S$ 确保相互合作比非对称结果更有效率。

收益归一化将囚徒困境 Γ 简化为两个参数：当另一位参与者合作时背叛所获得的收益g，以及当另一位参与者背叛时合作所造成的损失 l。收益归一化通过对原始收益应用单调线性变换来实现。参见Stahl II (1991) 以及表1b中的形式化表述。

重复 带有折扣因子的无限重复囚徒困境 δ 可以看作是一种以某个概率持续进行的互动。互动将继续进行的概率由折扣因子 δ决定：$1 > \delta > 0$。因此，预期轮数等于 $\frac{1}{1-\delta}$（参见Roth和Murnighan，1978）。

—

继 Dal B´o 和 Fr´echette (2019年) 以及其中的相关文献，我们假设参与者在博弈开始时从两种策略中进行选择：冷酷触发策略和始终

背叛。[6] 大量实验证据表明，相当一部分受试者关注冷酷触发策略和始终背叛（例如参见 Dal B´o 和 Fr´echette，2019年）。[7] 当另一位参与者也采取冷酷触发策略时，采取冷酷触发策略可获得 $\frac{1}{1-\delta}$；而当另一位参与者采取始终背叛时，采取冷酷触发策略可获得 $-l$。相比之下，当另一位参与者也采取冷酷触发策略时，采取始终背叛可获得 $1+g$；当另一位参与者采取始终背叛时，采取始终背叛可获得 0。因此，采取始终背叛可获得 $p\cdot(1+g)$，而采取冷酷触发策略可获得 $p\cdot(\frac{1}{1-\delta})+(1-p)\cdot(-l)$。$p$ 表示代理人认为另一位参与者采取冷酷触发策略的信念：$1\geq p\geq 0$。因此，$1-p$ 表示代理人认为另一位参与者采取始终背叛的信念。相应地，选择冷酷触发策略的条件计算如下。

—

$$p\cdot\left(\frac{1}{1-\delta}\right)+(1-p)\cdot(-l)\geq p\cdot(1+g) \tag{1}$$

当 δ 大于或等于临界贴现因子 δ^* 时，该条件成立：

$$\delta^*(g,l,p)=\frac{p\cdot(g-l)+l}{p\cdot(1+g-l)+l} \tag{2}$$

因此，临界贴现因子决定了选择冷酷触发策略所需的最低折扣因子。[8] 理论研究基于临界贴现因子的变化来预测合作（例如参见 Athey 等人，2004年、Gilo 等人，2006年）。在这类文献中，对临界贴现因子的一种常见解释是：该值越高，合作越不容易实现并维持；该值越低，合作越容易实现并维持（参见Blonski 等人，2011年及其中所引用的文献）。

对于任何无限重复的囚徒困境，我们都可以通过将 {v1} 代入方程2，计算出在子博弈精炼均衡中维持合作而非背叛所需的最低临界贴现因子，条件是

[6]始终背叛是一种行动计划或策略，其开始时选择背叛，并且无论另一位参与者采取何种行动，都继续选择背叛。冷酷触发策略开始时采取合作行动，并持续合作，直到出现背叛；一旦发生背叛，之后便永远背叛。这是对他人背叛所能采取的最强报复。[7]实验证据表明，大多数受试者会选择三种纯策略：冷酷触发策略、始终背叛和以牙还牙。在等于或低于 $\delta=0.75$的博弈中，大多数受试者选择冷酷触发策略和始终背叛（例如参见 Dal B´o 和 Fr´echette，2019年）。由于我们在 $\delta=0.75$ 实验室实验中采用延续概率，因此重点考察冷酷触发策略和始终背叛似乎是合理的。[8]方程2根据始终背叛相对于冷酷触发策略的吸引域大小这一思想，展示了临界贴现因子，出处为 DalB´o 和 Fr´echette (2018年)。

此时背叛。结果如方程 3 所示。因此，鉴于 $\delta \geq \delta^{pd}$，均衡并不唯一。这一事实引出了一个问题：参与者何时会选择合作的均衡?

根据 Blonski 等人（2011年），本文转而考察均衡选择标准——帕累托支配和风险优势。帕累托支配和风险优势是用于预测参与者何时会选择冷酷触发策略的均衡选择标准。

帕累托支配 若另一位参与者采取冷酷触发策略，那么只要代理人足够有耐心，冷酷触发策略就是帕累托占优的： $p = 1$。使合作成为帕累托占优响应所需的临界折扣因子 δ^{pd}，可将 $p = 1$代入方程2计算得出。结果见方程 3。

$$\delta^{pd}(g) = \frac{g}{1+g} \tag{3}$$

合作成为帕累托占优策略的条件为 $\delta \geq \delta^{pd}$。

风险优势 若另一位参与者在始终背叛和冷酷触发策略之间以50–50随机化时，冷酷触发策略是最佳响应，那么它就具有风险优势： $p = 0.5$。使合作成为具有风险优势的响应所需的临界折扣因子 δ^{rd} ，可将 $p = 0.5$ 代入方程2计算得出。结果见方程4。

$$\delta^{rd}(g,l) = \frac{g+l}{1+g+l} \tag{4}$$

若合作要成为风险占优的，条件 $\delta \geq \delta^{rd}$ 必须得到满足。请注意，风险占优临界贴现因子 δ^{rd} 严格大于帕累托占优临界贴现因子 δ^{pd} （参见Blonski 等人，2011年）。

通过比较方程 3 和方程4，我们可以看到，受骗者收益 S 的变化，即损失 l，确实会影响风险优势 δ^{rd}，但不会影响帕累托

支配 δ^{pd}。如果 $l > l$，那么博弈 $\Gamma(g,l)$ 中的 δ^{pd} 等于博弈 $\Gamma(g,l)$ 中的 δ^{pd}。如果 $g > g$，那么博弈 $\Gamma(g,l)$ 中的 δ^{pd} 低于博弈 $\Gamma(g,l)$ 中的 δ^{pd}。博弈$\Gamma(g,l)$ 中的风险优势 δ^{rd} 低于博弈 $\Gamma(g,l)$中的风险优势 δ^{rd}。同样，博弈 $\Gamma(g,l)$ 中的风险优势 δ^{rd} 低于博弈 $\Gamma(g,l)$ 中的风险优势 δ^{rd}。因此，方程 3 和方程4 表明，l 的变化会影响风险优势 δ^{rd}，而不会影响帕累托支配 δ^{pd}；而 g 的变化则会同时影响两者。

请注意，这两个均衡选择标准对于参与者可以沟通和不能沟通的博弈，都考虑相同的概率 p。然而，有实验证据表明，沟通会导致概率增加 p（参见Ellingsen 等人，2018以及其中的相关文献）。有人可能会质疑，概率的这一增加 p 与受骗者收益的变化所产生的影响 S，即损失 l对临界贴现因子的影响有何关系。

模型 为回答这一问题，我们将这一影响正式纳入模型。首次，我们假设风险优势在无沟通的博弈中是有用的：$p = 0.5$。大量实验证据表明，这一标准在确定无沟通博弈中的合作水平方面表现良好（参见Dal B´o 和 Fr´echette，2018以及其中的相关文献）。其次，我们假设，沟通会提高另一位参与者遵循冷酷触发策略的信念 p^+，该策略由参与者本人决定：$1 > p^+ > 0.5$。p^+ 是参与者在有沟通的博弈中认为另一位参与者遵循冷酷触发策略的信念。因此，$1 - p^+$ 是参与者在有沟通的博弈中认为另一位参与者始终背叛的信念。由此，我们将有沟通博弈中的信念大于无沟通博弈中的信念这一点纳入模型：$p^+ > 0.5$需要特别注意的是，这一假设并不意味着沟通不会导致参与者确定另一位参与者会遵循冷酷触发策略：$1 > p^+$。将 p^+ 纳入方程2后得到方程5。

$$\delta^+(g,l,p^+) = \frac{p^+ \cdot (g-l) + l}{p^+ \cdot (1+g-l) + l} \tag{5}$$

在研究信念增加对临界贴现因子的影响之前，我们先研究受骗者收益 S 的变化，即损失 l，是否会影响临界

有沟通的博弈中的折扣因子。我们发现，损失 l （$l > l$）的变化会影响有沟通的博弈中的临界贴现因子

$$\delta_{\bar{l}}^{+} > \delta_{\underline{l}}^{+} \tag{6}$$

当且仅当 $1 > p^{+}$。证明见附录 A.1。 δ^{+} 在博弈 $\Gamma(g, l)$ 中表示为 $\delta_{\bar{l}}^{+}$，而在 $\Gamma(g, \underline{l})$ 中表示为 $\delta_{\underline{l}}^{+}$。[9] 方程 6 表明，在博弈 $\Gamma(g, \underline{l})$ 中，临界贴现因子 δ^{+} 高于博弈 $\Gamma(g, \bar{l})$ 中的临界贴现因子，当且仅当 $1 > p^{+}$。在我们的模型中，基于上述假设 $1 > p^{+}$，受骗者收益 S 的变化确实会影响临界贴现因子 $(\delta_{\underline{l}}^{+} > \delta_{\bar{l}}^{+})$。直观地说，如果参与者不确定（$1 > p^{+}$）另一位参与者是否遵循合作策略，那么当另一位参与者背叛时，她或他就必须担心合作所带来的收益：$\underline{l}$。然而，如果参与者确信（$p = 1$）另一位参与者采取合作策略，她或他就不必考虑损失 l （参见方程 3 和帕累托支配均衡选择准则）。因此，根据我们的模型，受骗者收益 S 的变化，即损失 l，对临界贴现因子的影响取决于沟通是否消除了不确定性。

现在，让我们考察信念增强对临界贴现因子的影响。我们发现，沟通增强信念会降低临界贴现因子

$$\delta^{rd} > \delta^{+} \tag{7}$$

当且仅当 $p^{+} > \frac{1}{2}$。方程 7 的证明请参见附录 A.2。方程 7 表明，当 $p^{+} > \frac{1}{2}$ 时，无沟通的博弈中的临界贴现因子 δ^{rd} 高于有沟通的博弈中的临界贴现因子 δ^{+}。鉴于我们上述的假设（$p^{+} > \frac{1}{2}$），这一条件在我们的模型中显然得到满足。[10] 从方程 7 可以明显看出，允许沟通所带来的信念提升，使得遵循冷酷触发策略的价值高于始终背叛的价值。这意味着

[9] 根据表 1a，较高的受骗者收益 S 会带来较低的 $\underline{l}$。因此， S (S) 会导致 $\bar{l}$ ($\underline{l}$)，对于$S > S$而言如此。[10] 直观地说， $\delta^{+} > \delta^{pd}$ 只要满足 $1 > p$。鉴于上述假设（$1 > p^{+}$），这一条件在我们的模型中显然成立，因此，有沟通的博弈中的临界贴现因子 δ^{+} 大于帕累托占优临界贴现因子 δ^{pd}。

有沟通的博弈中的临界贴现因子低于无沟通的博弈中的临界贴现因子。

总体而言，根据我们的模型，只要沟通降低了、但没有消除参与者对于另一位参与者遵循合作策略的不确定性，受骗者收益 S 的变化就会影响临界贴现因子。然而，如果沟通确实消除了不确定性，模型则表明，受骗者收益 S 的变化不会影响临界贴现因子。值得一提的是，不确定性的降低会导致更低的临界贴现因子。因此，受骗者收益 S 的变化是否会影响临界贴现因子，取决于沟通对不确定性的影响。

3 实验设计

在实验室实验中，我们改变受骗者收益 S 以及受试者是否能够在被试间设计中进行沟通。在各处理组中，受试者参与若干无限重复囚徒困境博弈。受试者通过参与若干超级博弈来掌握收益结构。在每个超级博弈中，两名受试者持续互动（伙伴匹配协议）。每个超级博弈之间，受试者都会按照完全陌生人匹配协议重新匹配。完全陌生人匹配协议消除了受试者根据沟通风格识别曾经见过的其他受试者的随机性。识别他人可能为声誉建立创造机会，进而影响合作选择。阶段博弈和延续概率与 Blonski 等人 (2011年) 报告的结果相似，他们在第三个超级博弈中报告了稳定的结果。[11] 因此，每个处理组至少应包含三个超级博弈。我们为每个处理组设置五个超级博弈。因此，一个完美的（陌生人）匹配图涉及六名受试者（参见 Both、2016年及其中引用的文献）。

[11]采用Blonski 等人(2011年的阶段博弈和延续概率具有明显优势：我们知道受试者需要进行多少次超级博弈才能理解收益结构，因此可以据此选择相应的超级博弈次数。

沟通 在每个超级博弈中，在受试者设定其 a_i 第一轮的行动之前，会开启一个持续 60 秒的自由形式聊天窗口。博弈前自由形式聊天窗口使受试者能够协商其策略选择，随后为一个超级博弈选择策略。[12]

阶段博弈 自由形式聊天窗口关闭后，两位受试者a_i 同时选择其行动，在无限重复囚徒困境中 $\Gamma(T = 100,\ R = 90,\ P = 80,\ S)$。[13]为了提供一个中性框架，将 $a_i = \{C,\ D\}$ 重命名为 $a_i = \{A,\ B\}$。每轮结束后，受试者会收到关于其自身行动、另一位参与者的行动，以及该轮和截至目前超级博弈收益的反馈。

重复 每轮结束后，$r \geq 2$ 博弈以 δ 的概率继续，并以 $1-\delta$的概率结束。从 $[0,1]$上的均匀分布中抽取一个 δ'概率。当且仅当 $\delta' \leq \delta$ 所有参与者对之间开始另一轮。延续概率为$\delta = 0.75$。

处理组 我们采用被试间设计，改变受骗者收益 S 以及参与者是否可以进行沟通。[14]因此，我们考虑四种处理组：NoComm70、NoComm0、Comm70 和 Comm0。在 NoComm70 中，不会打开自由形式聊天窗口，且受骗者收益等于70；在 NoComm0 中，不会打开自由形式聊天窗口，且受骗者收益等于0。在 Comm70 中，会打开自由形式聊天窗口，且受骗者收益等于70；而在 Comm0 中，也会打开自由形式聊天窗口，但受骗者收益等于0。表2总结了实验设计。

[12]例如，每轮进行沟通将使参与者能够为单方面背叛道歉，从而能够重新协商其策略。为阻止他们重新协商，我们选择博弈前沟通（参见Farrell andMaskin，1989）。[13]让受试者选择行动而非策略的一个显著优势是，我们可以将结果与Blonski 等人（2011）以及其他研究的结果进行比较。在相关文献中，受试者通常选择行动而非策略。根据Dal B´o and Fr´echette （2011）和Dal B´o and Fr´echette（2018）的研究，在这些研究中，受试者专注于冷酷触发策略和始终背叛。[14]为消除实验者需求效应的随机性，采用被试间设计，而非被试内设计（如Blonski 等人，2011所采用的设计）。在这里，被试内设计可能导致不同处理组之间的实验者需求效应不恒定，即人们能够或不能进行沟通的处理组之间存在差异。原因在于，沟通可以用来讨论实验者希望看到的内容，因此，在人们能够沟通的处理组中，这种效应可能比在不能沟通的处理组中更加明显。

		处理			
		NoComm70	NoComm0	Comm70	Comm0
被试间设计	沟通	no	no	yes	yes
	受骗者收益 S	70	0	70	0
理论预测	δ^{pd}	0.50	0.50	0.50	0.50
	δ^{rd}	0.67	0.90	0.67	0.90

Tab表 2：按处理划分的被试间设计和理论预测 s.

概率 每位受试者 i 在选择行动后、收到反馈前，会立即被要求说明 $\tilde{p}_i$ 另一位参与者将进行合作的概率，使用没有默认值的直观滑块。受试者对第一轮中另一位参与者行动的信念，是其对另一位参与者策略选择评估的代理指标。[15] 基于以下原因，我们不对信念引出程序提供激励。首先，由于有证据表明，激励性信念引出会影响后续行动选择，并且这种影响可能会因受骗者收益 S 和沟通可能性的变化而有所不同（参见 G¨achter 和 Renner，2010）。其次，大量实验证据表明，沟通可以提高参与者对另一位参与者进行合作的信念（参见 Ellingsen 等人，2018，以及其中引用的文献）。第三，在可能的情况下选择简洁性（参见 Aoyagi 等人，2022年）。按照 Gill 和 Rosokha （2022）的做法，为使信念引出程序尽可能少地干扰实验，我们仅在第一超级博弈和最后一个超级博弈的第一轮引出信念。该程序旨在防止概率引出阶段对后续行动选择产生任何干扰。

程序 分配到不同处理组是随机的，因为报名参加实验场次的受试者并不知道将进行哪种处理。实验开始前，受试者被随机安排到计算机终端前。实验说明以

[15]例如，如果受试者确定另一名受试者在第一轮中合作，那么他或她就能确定另一名受试者遵循合作策略，例如冷酷触发策略。

书面形式提供。实验说明见附录 B。阅读实验说明后，屏幕会向受试者提出理解题，以确保所有人理解实验的重要内容，并使这一点成为共同知识。理解题见附录 C。只有在所有受试者都通过理解题后，实验才开始。实验于2022年5月在波茨坦大学进行，共有132名学生参加。受试者的最终收益为其积分收益之和，加上出场费。他们平均获得14.83欧元（36分钟），最低为9.80欧元（29分钟），最高为22.00欧元（45分钟）。在所有受试者中，30人参加了 NoComm70、 Comm70 和 Comm0，分别有42人参加了 NoComm0。与Blonski 等人 (2011年)类似，我们总共观察到1,401次阶段博弈互动。

4 个假设

下文将提出假设，分别说明受骗者收益S 变化的影响，以及沟通对合作率的影响。在讨论这些假设之前，我们先提出一组关于沟通对信念影响的假设。在我们的模型中，我们认为沟通能够增强确定性：有沟通的博弈中的信念（p^+）高于无沟通的博弈中的信念（$p = 0.5$）。因此，我们预计，经过沟通处理组的信念平均而言高于未经沟通处理组。

假设1a. Comm70中的平均信念高于 NoComm70。[16]**假设1b.** Comm0中的平均信念高于 NoComm0。[16]

接下来，本节将介绍关于受骗者收益 S（即损失 l）的变化对合作率影响的假设。从表2可以明显看出，损失 l的变化不会影响帕累托占优临界贴现因子 δ^{pd}。然而，根据我们的模型，损失 l 的变化确实会影响临界贴现因子

[16]这一假设未经过预注册。

在有沟通的博弈中（δ^{+}），这是由于 $1 > p^{+}$；在无沟通的博弈中（δ^{rd}）亦然。因此，根据我们的模型，我们预期，在有沟通和无沟通的博弈中，受骗者收益等于70的处理组，其合作率分别高于受骗者收益等于0的处理组。**假设2a.** 在 Comm70中的合作率高于 Comm0。**假设2b.** 在 NoComm70中的合作率高于 NoComm0。

最后，本节将讨论沟通对合作率影响的假设。表2显示，有沟通的博弈中的帕累托占优临界贴现因子 δ^{pd} 等于无沟通的博弈中的相应因子。然而，根据我们的模型，在 $\Gamma(g,\ l)$ 和 $\Gamma(g,\ l)$ 中，对于 $l > l$，无沟通的博弈中的临界贴现因子分别高于有沟通的博弈中的临界贴现因子（$\delta^{rd} > \delta^{+}$）。模型的这一方面表明，有沟通处理组的合作率高于无沟通处理组。

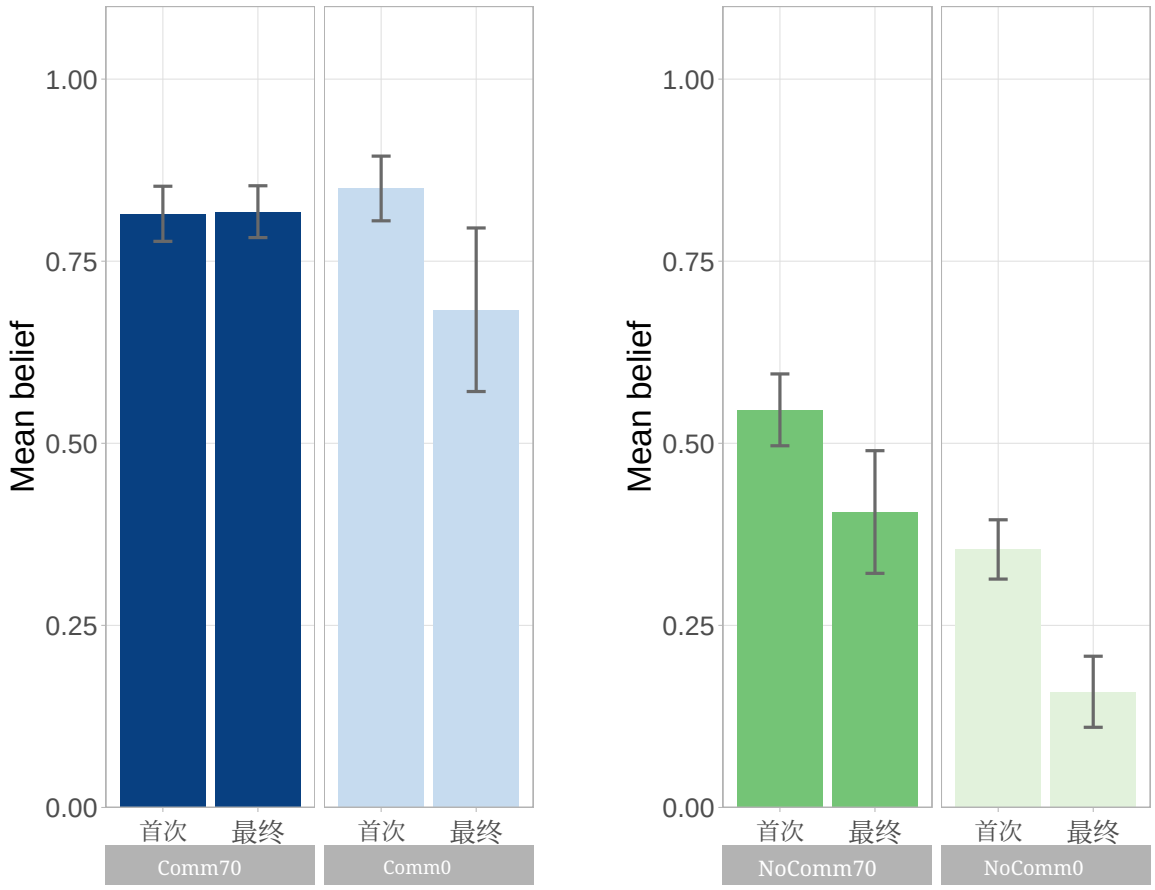
假设3a。 Comm70中的合作率高于 NoComm70。[16]**假设3b**。 Comm0中的合作率高于 NoComm0。[16]

继 Cooper 和 Kagel (2022年) 以及 Kartal 和 M¨uller (2022年）的研究之后，我们分析沟通内容，以更好地理解受试者为何做出某些选择。这项分析可以为受试者是否确实不确定另一名受试者是否会合作提供提示性证据。

5 结果

在本节中，我们首先研究沟通对信念的影响。其次，我们分别研究受骗者收益的变化对有沟通和无沟通博弈中合作的影响。随后，我们继续探讨沟通对合作的影响。最后，本节转向对沟通内容的分析。

信念 图1按处理组分别展示了第一次超级博弈和最终超级博弈中的平均信念。从该图可以明显看出，有沟通处理组中的平均信念显著高于无沟通处理组。带有连续性校正的单侧Wilcoxon-Mann-Whitney检验[17] 显示，在第一次超级博弈中， Comm70 （ Comm0）的平均信念显著高于 NoComm70（NoComm0）： $p < 0.001$、 $N = 15$ （ $p < 0.001$、 $N = 15$ 和 $N = 21$，分别）。如果我们改为考察最终超级博弈，结果也非常相似： $p = 0.010$ （$p = 0.005$）。因此，我们的数据清晰地支持假设1a和假设1b，即有沟通处理组中的平均信念高于无沟通处理组。



(a) 沟通 (b) 无沟通

图1：按处理组划分的首次和最终超级博弈中的平均信念。误差线表示标准误，并按图级进行聚类。附录D中的表3提供了更多信息。

[17]与 Blonski 等人(2011年) 类似，除非另有说明，本文报告的所有 p-值均指经过连续性校正并按图级聚类的单侧 Wilcoxon-Mann-Whitney 检验。连续性校正用于处理小样本量中的不连续性，并产生更保守的p-值。

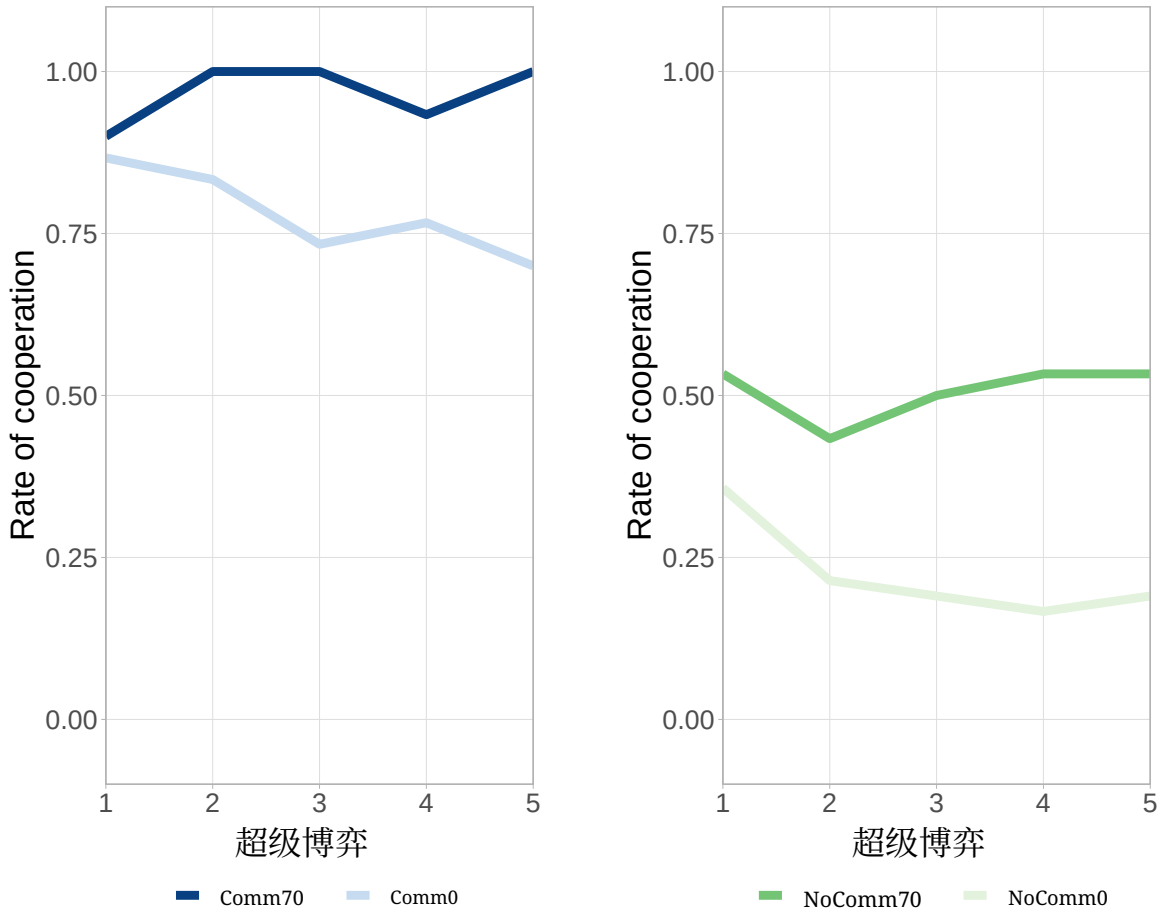
另一个值得一提的观察结果是，从图1a可以看出，在各轮超级博弈中，有沟通的处理组的平均信念低于1且高于二分之一。这表明，在有沟通的情境下，帕累托支配所意味着的信念水平为1，以及风险优势所意味着的信念水平为二分之一，均不是有用的均衡选择标准。

综合来看，有沟通的处理组的平均信念高于无沟通的处理组，同时有迹象表明，有沟通的处理组的平均信念低于1这一确定性水平且高于二分之一这一最大不确定性水平，这说明沟通降低了不确定性，但并未消除不确定性。因此，我们的数据与第2节提出的沟通对不确定性影响的假设一致。

合作 图2展示了各处理组在各超级博弈第一轮中的合作率。受试者在第一轮的合作选择，是其在该超级博弈中的策略选择的代理变量。从图2a可以看出，在后期超级博弈中，Comm70 的合作率高于 Comm0 。一项检验显示，在 Comm70 中，最终超级博弈第一轮的合作率显著高于 Comm0： $p = 0.035$。在所有超级博弈中，结果也类似：$p = 0.055$。然而，在第一次超级博弈中， Comm70 的第一轮合作率并不显著高于 Comm0： $p = 0.409$。[18] 如果改为考察所有轮次，结果也基本相同。附录D中的表4b提供了支持。因此，在后期超级博弈中，我们的数据支持假设2a，即受骗者收益 S 的变化会影响有沟通的博弈中的合作率。

从图2b可以看出，在第一轮中， NoComm70在各超级博弈中的合作率高于 NoComm0 。我们发现，在 NoComm70 的最终超级博弈中，第一轮的合作率显著高于NoComm0： $p = 0.032$。检查所有超级博弈（$p = 0.025$）后，我们发现结果相近。

[18]此外，如果比较第三个超级博弈（二）中的第一轮行动， NoComm70 中的合作率显著（边际显著）高于 NoComm0： $p = 0.012$ （$p = 0.090$）。虽然 Comm70中第四个超级博弈的结果高于 Comm0，但其不具有统计显著性（$p = 0.144$）。



(a) 沟通　　(b) 无沟通

图2：按处理组划分的各超级博弈中第一轮的合作率。

然而，在第一次超级博弈中， NoComm70 的合作率并未显著（$p = 0.375$）高于 NoComm0。[19] 如果改为考察所有轮次的合作率，结果几乎相同。相关佐证见附录D中的表4b。因此，在后期超级博弈中，我们的数据支持假设2b：受骗者收益的变化 S 会影响无沟通的博弈中的合作率。

从图2中可以明显看出，在各个超级博弈中，包含沟通的处理组的合作率高于不包含沟通的处理组。一项检验显示，在 Comm70的最终超级博弈的第一轮（跨超级博弈）中，合作率显著高于 NoComm70、 $p = 0.012$ （$p = 0.006$）。如果我们改为考察最终超级博弈第一轮的合作率，结果也非常相似

[19]一项检验显示，在 NoComm70 中，第三个超级博弈（第四个超级博弈）的第一轮合作率显著高于 NoComm0： $p = 0.021$ （$p = 0.035$）。虽然第二个超级博弈中并非如此（$p = 0.135$），但合作积分的均值仍朝着预测方向变化。

（跨超级博弈）在 COMM0 和 NOCOMM0之间的比较结果为： $p = 0.015$ （$p = 0.005$）。即使考察第一次超级博弈的第一轮， COMM70 （COMM0）中的合作率也显著高于 NOCOMM70 （NOCOMM0）中的合作率： $p = 0.004$ （$p = 0.003$）。[20] 如果改为考察所有轮次的合作率，结果几乎完全相同。相关支持证据见附录D中的表4b。因此，我们的数据清晰地支持假设3a和假设3b：在受骗者收益为70和受骗者收益为0的博弈中，包含沟通的处理组的合作率分别高于不包含沟通的处理组。

沟通 在研究沟通内容之前，我们首先说明分析文本数据的方法。为了探究沟通内容，我们采用一种无监督机器学习算法。该算法具有一个显著优势，即不依赖预定义聚类，而预定义聚类通常是通过人工编码过程建立的。在实验经济学中，人工编码是对聊天数据进行聚类的最常见方法（参见Andres 等人，2023年）。这一过程涉及根据对聊天数据（子集）的分析来定义聚类，然后由评审员将数据分配到这些预定义聚类中。然而，手动刻画聚类可能会受到偏差影响，例如对聚类定义的理解可能存在偏差（例如参见Kartal 和 M¨uller，2022年）。因此，除了人工编码之外，我们还使用无监督机器学习算法来确定聚类。

我们的方法首先考察超级博弈和处理组中的全部沟通内容。因此，我们获得了150个聊天记录或文档，这些内容共同构成语料库。该语料库经过系统的自然语言处理流程，包括纠正拼写错误、将词语还原为词典形式，以及删除没有实际意义的词语。处理后的语料库可以表示为矩阵 Λ，其中元素 (μ, θ, ω) 表示文档 μ 中出现的唯一词元 θ 的词嵌入值 ω。词元 θ 可以是一个词，也可以是例如一个数字。词元 ω_θ 的词嵌入是一个实值向量，它编码了

[20]从这些分析中可以明显看出，在第二、第三和第四个超级博弈中， COMM70 （COMM0）第一轮的合作率分别显著高于 NOCOMM70 （NOCOMM0）： $p = 0.003$、 $p = 0.004$ 和 $p = 0.022$ （$p = 0.004$、 $p = 0.003$ 和 $p = 0.006$）。

词元的含义 θ，因此，向量空间中距离更近的词元在含义上应当相似（参见Joulin 等人，2016年）。矩阵 Λ经过求和算子处理，使得元素（μ，ω）表示 ω 每个词元 θ 在每个文档 μ中的词嵌入之和。该表示方法 Λ 已被证明特别适合将含义相似的文档聚类（参见Ash 和 Hansen，2022年，以及其中引用的相关文献）。

为了将含义相似的文档进行聚类，我们使用 k-均值算法。这种无监督机器学习算法尤其适合将语料库划分为 k 个聚类（参见Steinbach 等人，2000）。同一聚类中的文档尽可能相似，而不同聚类中的文档则尽可能不相似。该算法背后的基本思想是定义聚类，使簇内总变异最小化。为确定聚类的数量 k，我们考察簇内平方和总量。该方法的结果表明存在两个聚类：附录D中的图4对此提供了支持。因此，我们使用两个聚类来研究沟通内容。

在图3中，我们展示了语料库中出现频率最高的30个词元及其相对排名差异，以呈现两个聚类之间的关键区分特征。显然，从该图可以看出，两个聚类之间的关键区分特征在于受试者是否会讨论行动选择的风险性。在讨论*A*和*B*聚类中，词元‘B’、‘风险’和‘信任’经常与词元‘A’一同出现，这表明受试者主要讨论行动选择的风险性。在讨论*A*聚类中，词元‘A’经常与与亲和性相关的词元（‘完美’、‘超级’和‘开心笑脸’）一同出现，这表明受试者主要讨论达成一致、选择合作行动的事宜。诸如‘风险’、‘信任’以及表示背叛行动的‘B’等词语出现在一个聚类中而不出现在另一个聚类中，这表明受试者在选择行动之前并不确定另一名受试者会采取何种行动——至少在其中一个聚类中是如此。

与上述介绍的机器学习方法相比，我们通过人工编码得出了定性上相似的结果。人工编码按以下方式进行。首次，两名学生研究助理彼此独立地阅读语料库，以记录

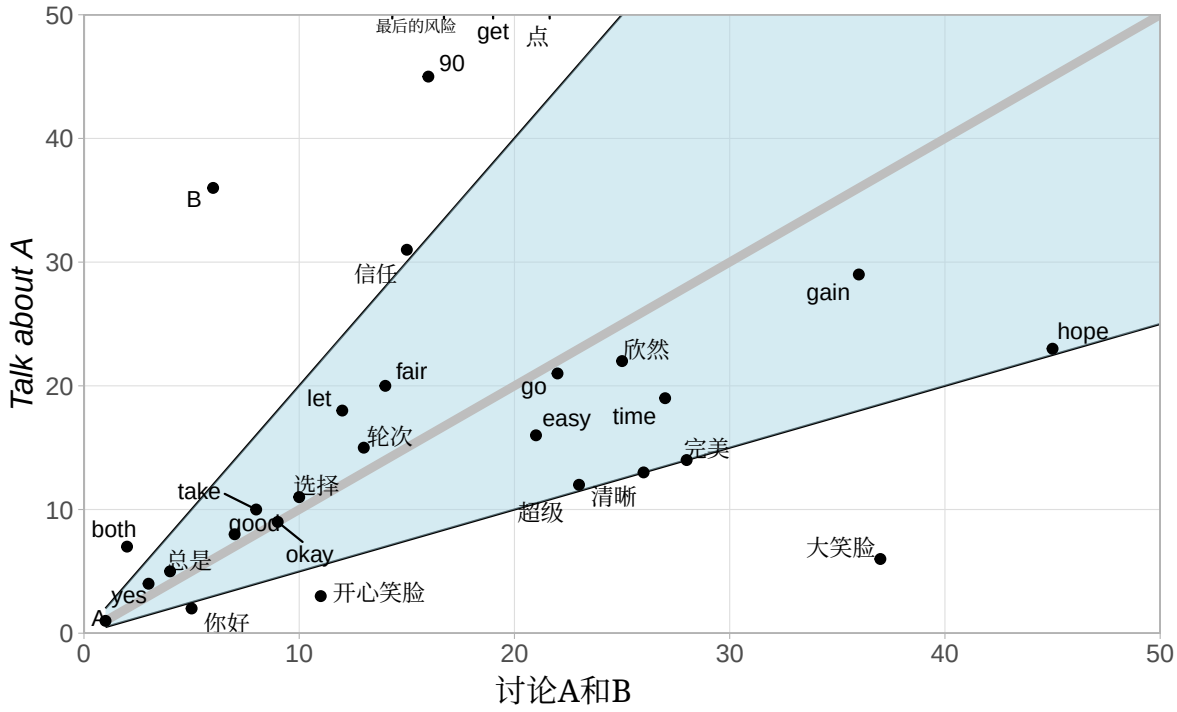


图3：两个簇中使用频率最高的30个词元的频率排名。附录E中的图5列出了德语词元。

注：两条黑线表示边界，在此处两个相对排名差异$\frac{r_2-r_1}{r_1}$和$\frac{r_1-r_2}{r_2}$，r_1和r_2分别表示簇一和簇二中的排名，二者均等于*1*。阴影区域之外的词元的相对排名差异超过*1*。如果相对排名统计量大于或等于*1*，则表示词元在一个簇中的出现频率高于另一个簇（见*Fischer和Normann，2019年*）。

数据中呈现的聚类。随后，他们会面并一致确定了两个相关簇：一致和讨论。第一个簇——一致——涵盖受试者纯粹同意选择行动“A”，即合作的聊天。第二个簇——讨论——则涵盖受试者围绕两种行动“A”和“B”以及博弈的困境方面进行交流的聊天。其次，学生助理独立地将每段聊天归入相应的簇：他们在所有簇中的工作彼此一致（$\kappa = 0.71$）。人工评定者与我们的机器学习方法在所有簇上的 Cohen’s κ 高于0。62，表明两者高度一致。因此，数据支持我们的机器学习方法，表明受试者在选择行动之前，不确定另一位受试者是否会合作。

总而言之，与机器学习方法一致，人工编码进行的沟通分析表明，受试者在选择行动之前，不确定另一位受试者是否会合作

。值得一提的是，我们发现人工编码与机器学习方法得出的结果在性质上相似。这一发现进一步支持了我们的假设，即受试者不确定另一位受试者的合作策略。

6 结论

本文通过实验室实验研究了：将“沟通会提高另一位参与者进行合作的信念，但不会使其确信另一位参与者会合作”这一假设纳入无限重复囚徒困境的均衡选择理论后，是否能够得到一种标准 δ^+，作为预测合作的工具，其表现远胜于传统标准。传统标准对沟通可能性不敏感。我们的结果表明，均衡选择标准 δ^+ 是预测沟通可能性影响的更好工具，而非传统标准。

我们预计，本文至少将在两个方面发挥作用：首次，关于合作可预测性，已有一批具有重要影响力的文献；本文在此基础上，利用均衡选择标准来设计政策，并确定哪些制度更有利于或不利于合作（参见 Dal B´o andFr´echette，2022年）。将该文献中的工具扩展到具有沟通可能性的博弈，或许能够改善这一文献中的研究结果。其次，我们使用词嵌入和机器学习来评估实验室实验中的沟通内容。当前正逐渐形成一批相关文献；本文在此基础上，采用这种新颖的方法来评估经济学中的文本语料库（参见 Ash and Hansen，2022年）。我们的结果提供了经验证据，表明即使在实验环境中，这种方法也能很好地将含义相近的内容聚为同一簇。

下一步，可以探究不同类型沟通所对应的焦点信念。这将使我们能够为具有沟通可能性的博弈建立均衡选择标准，对合作是否会占上风作出点预测，例如广为人知的风险支配准则。我们的结果表明，在有沟通的博弈中，四分之三的比例可能是一种焦点信念。

参考文献

Andreoni, J. 和 J. H. Miller（1993年）。有限次重复囚徒困境中的理性合作：实验证据。《经济学杂志》*103*(418), 570–585。

Andres, M.、L. Bruttel 和 J. Friedrichsen（2023年）。沟通如何造成卡特尔与默契合谋之间的差异：一种机器学习方法。《欧洲经济评论》*152*（104331）。

Aoyagi, M. 和 G. R. Fr´echette（2009年）。随着公共监测变得嘈杂，合谋如何发展：实验证据。《经济理论杂志》*144*（3），1135–1165。

Aoyagi, M.、G. R. Fr´echette 和 S. Yuksel（2022年）。重复博弈中的信念。*ISER*讨论论文编号：*1119RR*。

Ash, E. 和 S. Hansen（2022年）。经济学中的文本算法。《经济学年度评论》即将出版。

Athey, S.、K. Bagwell 和 C. Sanchirico（2004年）。合谋与价格刚性。《经济研究评论》*71*（2），317–349。

Blonski, M.、P. Ockenfels 和 G. Spagnolo（2011年）。重复囚徒困境中的均衡选择：公理化方法与实验证据。《美国经济学杂志：微观经济学》*3*（3），164–192。

Both, F.、M. T. P. Adam、A. Hariharan、V. Dorner、E. Lux 和 C. Weinhardt（2016年）。基于随机禁忌搜索的经济实验中完美陌生人匹配方法。《经济学快报》*145*，235–238。

Bruttel, L. 和 U. Kamecke（2012年）。实验室中的无穷：人们如何进行重复博弈？《理论与决策》*72*（2），205–219。

Cooper，D. J. 和 J. Kagel（2022年）。利用团队讨论理解无限次重复囚徒困境博弈中的行为。《美国经济学杂志：微观经济学》即将出版。

Cooper，R.、D. V. DeJong、R. Forsythe 和 T. W. Ross（1996年）。无声誉的合作：来自囚徒困境博弈的实验证据。《博弈与经济行为》第*12*卷（2），187–218。

Dal B´o, P.（2005年）。未来阴影下的合作：来自无限重复博弈的实验证据。《美国经济评论》*95*(5)，1591–1604。

Dal B´o, P.、A. Foster 和 L. Putterman（2010年）。制度与行为：关于民主影响的实验证据。《美国经济评论》*100*(5)，2205–2229。

Dal B´o, P. 和 G. R. Fr´echette（2011年）。无限重复博弈中合作的演化：实验证据。《美国经济评论》*101*(1)，411–429。

Dal B´o, P. 和 G. R. Fr´echette（2018年）。无限重复博弈中合作的决定因素：一项综述。《经济文献杂志》*56*(1)，60–114。

Dal B´o, P. 和 G. R. Fr´echette（2019年）。无限重复囚徒困境中的策略选择。《美国经济评论》*109*(11)，3929–3052。

Dreber, A.、D. G. Rand、D. Fudenberg 和 M. A. Nowak（2008）。赢家不惩罚。《自然》*452*（7185），348–351。

Duffy, J. 和 J. Ochs（2009）。合作行为与社会互动的频率。《博弈与经济行为》*66*（2），785–812。

Dvorak, F. 和 S. Fehrler（2021）。不确定性下的合作协商：噪声环境中的沟通与无限期重复互动。*IZA*讨论论文第*11897*号。

¨Ellingsen, T.、R. Ostling 和 E. Wengstr¨om（2018）。在具有完全信息的一次性博弈中，沟通如何影响信念？《博弈与经济行为》*107*，153–181。

Farrell, J. 和 E. Maskin（1989年）。重复博弈中的重新谈判。《博弈与经济行为》1(4)，327–360。

Fischer, C. 和 H.-T. Normann（2019年）。非对称古诺双寡头中的合谋与讨价还价——一项实验。《欧洲经济评论》111(2)，360–379。

Fr´echette, G. R. 和 S. Yuksel（2017年）。实验室中的无限重复博弈：关于贴现与随机终止的四种视角。《实验经济学》*20*（2），279–308。

Fudenberg, D.、D. G. Rand 和 A. Dreber（2012年）。易怒而宽恕迅速：不确定世界中的合作。《美国经济评论》*102*（2），720–749。

G¨achter, S. 和 E. Renner（2010年）。公共物品实验中（有激励的）信念引出的影响。《实验经济学》*13*（3），364–377。

Gill, D. 和 Y. Rosokha（2022年）。无限期重复囚徒困境中的信念、学习与人格。*IZA* 讨论论文第*15492*号。

Gilo, D.、Y. Moshe 和 Y. Spiegel（2006年）。部分交叉持股与默契合谋。《兰德经济学杂志》*37*（1），81–99。

Harstad, B.、F. Lancia 和 A. Russ（2022年）。自我执行协议中的价格与数量。《环境经济学与管理杂志》*111*（102595）。

Joulin, A.、E. Grave、P. Bojanowski 和 T. Mikolov（2016年）。高效文本分类的技巧包。*arXiv* 预印本 *arXiv:1607.01759*。

Kagel, J. H. 和 D. R. Schley（2013年）。重新审视经济奖励如何影响合作。《经济学快报》*121*（1），124–127。

Kartal, M. 和 W. M¨uller（2022年）。分析未来阴影下的合作的新方法：理论与实验证据。可在 *SSRN 3222964* 获取。

Mailath, G. J. 和 L. Samuelson（2006年）。重复博弈与声誉：长期关系。牛津大学出版社。

Mart´ınez-Mart´ınez, I. 和 H.-T. Normann（2022年）。多人困境中的合作。工作论文。

Powell, R.（1993年）。枪支、黄油与无政府状态。《美国政治科学评论》*87*（1），115–132。

Rapoport, A.、A. M. Chammah 和 C. J. Orwant（1965）。《囚徒困境：一项关于冲突与合作的研究》，第 165 卷。密歇根大学出版社。

Roth, A. E. 和 J. K. Murnighan（1978）。囚徒困境中的均衡行为与重复博弈。《数学心理学杂志》第 *17* 卷（2），189–198。

Sherstyuk, K.、N. Tarui 和 T. Saijo（2013）。无限期实验博弈中的支付方案。《实验经济学》第 *16* 卷（1），125–153。

Stahl II, D. O.（1991）。囚徒困境超博弈收益关于折扣因子的函数图。《博弈与经济行为》第 *3* 卷（3），368–384。

Steinbach, M.、G. Karypis 和 V. Kumar（2000）。文档聚类技术的比较。技术报告。

Wilson, A. J. 和 H. Wu（2017）。任意终止关系：退出选择权如何影响合作与效率。《博弈与经济行为 102》，487–507。

附录

A 理论背景

以下部分介绍模型的理论背景。在说明模型预测沟通具有促进合作的作用之前，本部分首先展示，受骗者收益的变化 S 会影响有沟通的博弈中的合作率。

A.1 受骗者收益变化的影响S

方程 6 与方程2的关系如下。

$$\frac{p^+ \cdot (g - \bar{l}) + \bar{l}}{p^+ \cdot (1 + g - \bar{l}) + \bar{l}} > \frac{p^+ \cdot (g - \underline{l}) + \underline{l}}{p^+ \cdot (1 + g - \underline{l}) + \underline{l}} \tag{8}$$

方程 8 得出方程 9。

$$\begin{gathered}
(p^+)^2 \cdot g + (p^+)^2 \cdot g^2 - (p^+)^2 \cdot \underline{l} \cdot g + p^+ \cdot g \cdot \underline{l} \\
-(p^+)^2 \cdot \bar{l} - (p^+)^2 \cdot g \cdot \bar{l} + (p^+)^2 \cdot \bar{l} \cdot \underline{l} - p^+ \cdot \bar{l} \cdot \underline{l} \\
+p^+ \cdot \bar{l} + p^+ \cdot g \cdot \bar{l} - p^+ \cdot \bar{l} \cdot \underline{l} + \bar{l} \cdot \underline{l} \\
> \\
(p^+)^2 \cdot g + (p^+)^2 \cdot g^2 - (p^+)^2 \cdot \bar{l} \cdot g + p^+ \cdot g \cdot \bar{l} \\
-(p^+)^2 \cdot \underline{l} - (p^+)^2 \cdot g \cdot \underline{l} + (p^+)^2 \cdot \bar{l} \cdot \underline{l} - p^+ \cdot \bar{l} \cdot \underline{l} \\
+p^+ \cdot \underline{l} + p^+ \cdot g \cdot \underline{l} - p^+ \cdot \bar{l} \cdot \underline{l} + \bar{l} \cdot \underline{l}
\end{gathered} \tag{9}$$

为简化方程 9，我们减去 $(p^+)^2 \cdot g$、$(p^+)^2 \cdot g^2$、$(p^+)^2 \cdot l \cdot l$、 $p^+ \cdot l \cdot g$、 $l \cdot l$和$p^+ \cdot g \cdot l$。此外，我们加上 $(p^+)^2 \cdot l \cdot g$、$(p^+)^2 \cdot g \cdot l$ 和 $2 \cdot p^+ \cdot l \cdot l$。结果如

方程 10 所示。

$$-(p^+)^2 \cdot \bar{l} + p^+ \cdot \bar{l} > -(p^+)^2 \cdot \underline{l} + p^+ \cdot \underline{l} \tag{10}$$

接下来，为了简化方程 10，我们减去 $p^+ \cdot l$ 并加上 $(p^+)^2 \cdot l$。结果如方程 11 所示。

$$p^+ \cdot \bar{l} - p^+ \cdot \underline{l} > (p^+)^2 \cdot \bar{l} - (p^+)^2 \cdot \underline{l} \tag{11}$$

方程 11 得出方程 12。

$$p^+ \cdot (\bar{l} - \underline{l}) > (p^+)^2 \cdot (\bar{l} - \underline{l}) \tag{12}$$

由于 $(\bar{l} - \underline{l}) > 0$，将方程 12 除以 $(\bar{l} - \underline{l})$ 可得方程 13。

$$p^+ > (p^+)^2 \tag{13}$$

最后一步是将方程 13 除以 p^+。结果如方程 14 所示。

$$1 > p^+ \tag{14}$$

方程 14 记录了该模型的预测：损失 l 的变化当且仅当 $1 > p^+$ 时会影响合作率 ($\delta_l^+ > \delta_l^+$)。在我们的假设下，这一结论成立。

A.2 沟通的影响

本节记录了模型所蕴含的通信促进合作的效应。方程 7（$\delta^{rd} > \delta^+$）展开后如方程 15 所示。

$$\frac{g + l}{1 + g + l} > \frac{p^+ \cdot (g - l) + l}{p^+ \cdot (1 + g - l) + l} \tag{15}$$

方程 15 得出方程 16。

$$g \cdot p^{+} + g^{2} \cdot p^{+} + g \cdot l + l \cdot p^{+} - l^{2} \cdot p^{+} + l^{2}$$

(16) $$>$$

$$p^{+} \cdot g - p^{+} \cdot l + l + g^{2} \cdot p^{+} + g \cdot l - p^{+} \cdot l^{2} + l^{2}$$

为简化方程 16，我们减去 l^{2}、 $g \cdot p^{+}$、 $g^{2} \cdot p^{+}$ 和 $l \cdot g$。此外，我们加上 $p^{+} \cdot l^{2}$。结果如方程 17 所示。

(17) $$2 \cdot l \cdot p^{+} > l$$

In a 最后一步，我们将方程 17 除以 $2 \cdot l$。结果如方程 18 所示 .

(18) $$p^{+} > \frac{1}{2}$$

方程 18记录了模型对沟通的促进合作的效应的预测 ($\delta^{rd} > \delta^{+}$)，当且仅当 $p^{+} > \frac{1}{2}$ 时成立。这符合我们的假设。

B 实验说明

接下来，我们将介绍提供给 Comm0 处理组参与者的实验说明。仅出现在特定处理组实验说明中的部分会明确标注。斜体文字仅在参与者可以沟通时才会出现在实验说明中。方括号中的数字会将受骗者收益 S 为 0 和 70 的情况分别标记为 0 和 70。参与者收到的（原始）实验说明为德语。

实验说明

今天您将参加一项决策实验。仔细阅读以下说明，您就有机会获得报酬。您获得的金额取决于您的决策以及其他参与者的决策。

在整个实验期间，您不得与其他参与者交流。因此，请不要彼此交谈。违反此规定将导致您被取消实验资格且无法获得报酬。

如果有任何不明白的地方，请重新查看这些实验说明，或向我们打个手势。我们会走到您身边，并亲自回答您的问题。

实验期间，我们不使用欧元，而是使用积分。您在实验中获得的积分将按以下方式兑换成欧元：

180积分 = 1欧元

在今天的实验结束时，您将获得由实验中取得的积分兑换成的欧元，以及作为基本报酬的5欧元<样式 id='1'>现金</样式>。

所有参与者的实验说明都相同。在接下来的页面中，我们将解释实验的具体流程。

实验

实验由5个相互独立的子实验组成。所有子实验的结构都相同。每个子实验由若干轮次组成。所有轮次的结构都相同。在每一轮中，您都有机会选择一项行动。

在每个子实验中，参与者会被随机分配到每组2人的小组中。在同一个子实验内，分组保持不变。无论是在实验开始前还是结束后，您和其他参与者都不会了解到小组中参与者的身份。

每个子实验结束后都会重新分组。整个实验期间，您与同一个人被分到同一组的次数最多为一次。在每个新的子实验中，您都会遇到一位之前从未遇到过、实验结束后也不会再遇到的新参与者。

在每个子实验开始时，你可以通过计算机上的聊天功能，以文字形式与组内另一位参与者交流。聊天时长限制为 *60* 秒。你可以在聊天中写任何内容，唯一的限制是不能透露任何有关你身份的线索。

子实验

一个子实验由若干轮次组成。

轮次的确切数量取决于随机性。在每轮开始前，系统会抽取一个 0 到 100 之间的数字。出于技术原因，这项操作由计算机完成。每个数字被抽取的概率相同。如果该数字小于 75，则开始新一轮；如果该数字大于或等于 75，则子实验结束，如有必要，随后会与另一位参与者开始新的子实验。这些随机数彼此独立地抽取。

在每轮中，您可以根据自己的决策以及与您互动的另一位参与者的决策获得积分。每轮获得的积分会累加，并在今天的实验结束时以**现金** 支付。

轮次

在每轮中，系统会同时要求您和另一位参与者在两项行动**A** 和**B**之间做出决策。您可以使用鼠标点击屏幕上相应的红色按钮，选择行动**A** 或**B** 。点击后，决策便不可撤销。请尽量在 30 秒内做出决策。超过此时间后，闪烁显示会向您发出警告。

您在本轮次中的收益取决于您的行动以及与您互动的另一位参与者的行动。收益如下：

我的决策	如果另一位参与者选择，收益为	
	A	B
A	对我而言**90 分** 对另一位参与者而言 **90 分**	对我而言 [0] **积分** 另一位参与者 **100 积分**
B	对我**100 积分** 另一位参与者 [0] **积分**	对我**80 积分** 另一位参与者 **80 积分**

每轮结束时，您将了解到与您互动的另一位参与者的决策、您在该轮获得的积分，以及当前子实验中获得的积分总和。这些信息将显示 30 秒。不过，您可以在此之前点击灰色“确定”按钮退出信息屏幕。当所有参与者都点击灰色“确定”按钮离开屏幕后，下一轮将开始（如适用），但最迟不会晚于 30 秒。

稍后我们会请您在计算机上回答一些理解题。这是为了确保所有参与者都充分理解了这些实验说明。

实验结束后，我们会要求您在计算机上填写一份简短的问卷。之后，您将收到报酬。

C 测验

下面列出我们的理解题。阅读实验说明后，我们会要求受试者回答屏幕上的理解题，以确保所有人都理解实验的重要部分，并使这一点成为所有人的共同知识。理解题如下：

(1) 一个组中有多少人（包括您）？(2) 如果您和另一位参与者在一轮次中都选择“B”，您会获得多少收益？(3) 如果您和另一位参与者在一轮次中都选择“A”，您会获得多少收益？(4) 如果随机数小于多少，新一轮次会开始？(5) 随机数是独立地抽取的吗？(6) 如果一个子实验持续4轮次，并且您和另一位参与者始终选择“A”，那么您在该子实验中会获得的总收益是多少？(7) 在每个新的子实验中，您将遇到一位此前从未见过、或在实验结束后也不会再见到的新人吗？(8) 如果您选择“A”，而另一位参与者选择“B”，您在一轮次中会获得多少收益？

D 数据

以下内容介绍本文所讨论的数据。

D.1 簇内平方和总量

任何 k-均值算法都需要确定聚类的数量 k。为确定聚类的数量 k，我们依据簇内平方和总量。图4展示了每个聚类数量 k对应的簇内平方和总量。从该图可以明显看出，聚类数量 k 越多，簇内平方和总量就越低。统计上最优的聚类数量位于这样一个点：再选择一个聚类并不会使簇内平方和总量进一步大幅降低。在图4中，这就是肘部所在的聚类数量 k 。从该图可以明显看出，我们为 k-均值算法考虑的聚类数量 k 为3。其中两个聚类具有实际意义：它们包含一段对话。在第三个聚类中，两名受试者只是互相问候，没有进一步的意图。[21] 因此，对于沟通内容的分析，我们只考虑这两个有意义的聚类。

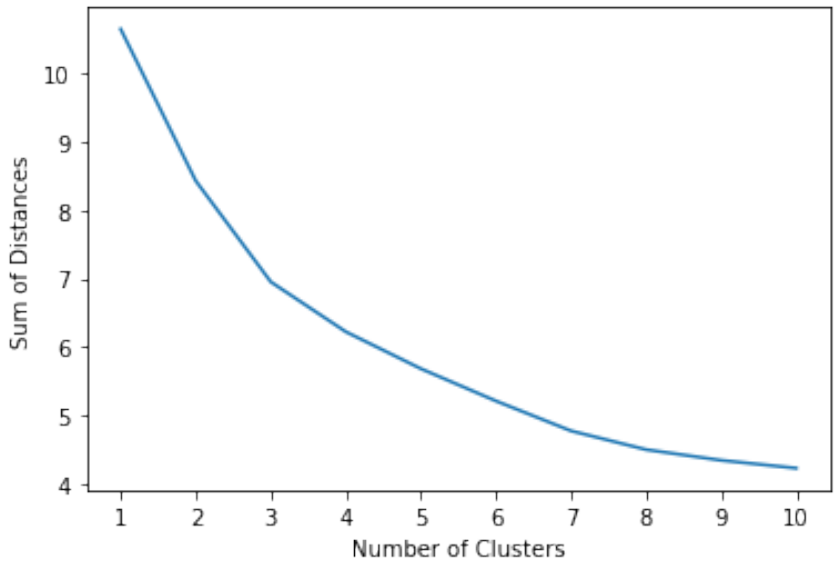


图4：每个聚类数量对应的簇内平方和总量 k。

[21]如正文所述，人工编码员发现了一个相似的第三簇，其中仅包含参与者之间的问候。

D.2 按处理划分信念

		处理			
		NoComm70	NoComm0	Comm70	Comm0
信念	Mean	54.59 (31.16)	35.42 (29.37)	81.51 (23.83)	84.99 (17.45)
	中位数	64.69	30.47	89.94	88.66
>中位数	合作	14	14	15	15
	背叛	1	7	0	0
<中位数	合作	2	1	12	11
	背叛	13	20	3	4

(a) 第一次超级博弈

		处理			
		NoComm70	NoComm0	Comm70	Comm0
信念	Mean	40.56 (28.08)	15.88 (25.51)	81.80 (23.25)	68.33 (37.76)
	中位数	43.30	0.73	90.99	84.75
>中位数	合作	13	8	15	13
	背叛	2	13	0	2
<中位数	合作	3	0	15	8
	背叛	12	21	0	7

（b）最终超级博弈

表3：首次和最终超级博弈中按处理划分的均值和中位数信念，以及高于和低于中位数的合作次数。括号内的数字为标准差。

D.3 合作 按处理划分的超级博弈

表4：在所有轮次中，p值在 NoComm70 和 NoComm0 之间，于第一、第二、第三、第四、第五个超级博弈以及全部超级博弈中分别为 0.012、0.036、0.017、0.024、0.019 和 0.007。在所有轮次中，p值在 Comm70 和 Comm0 之间，于第一、第二、第三、第四、第五个超级博弈以及全部超级博弈中分别为 0.375、0.090、0.001、0.017、0.193 和 0.072。在所有轮次中，p值在 Comm70 和 NoComm70 之间，于第一、第二、第三、第四、第五个超级博弈以及全部超级博弈中分别为 0.005、0.004、0.005、0.010、0.018 和 0.006。在所有轮次中，p值在 Comm0 和 NoComm0之间，于第一、第二、第三、第四、第五个超级博弈以及全部超级博弈中分别为 0.003、0.003、0.005、0.009、0.010 和 0.005。

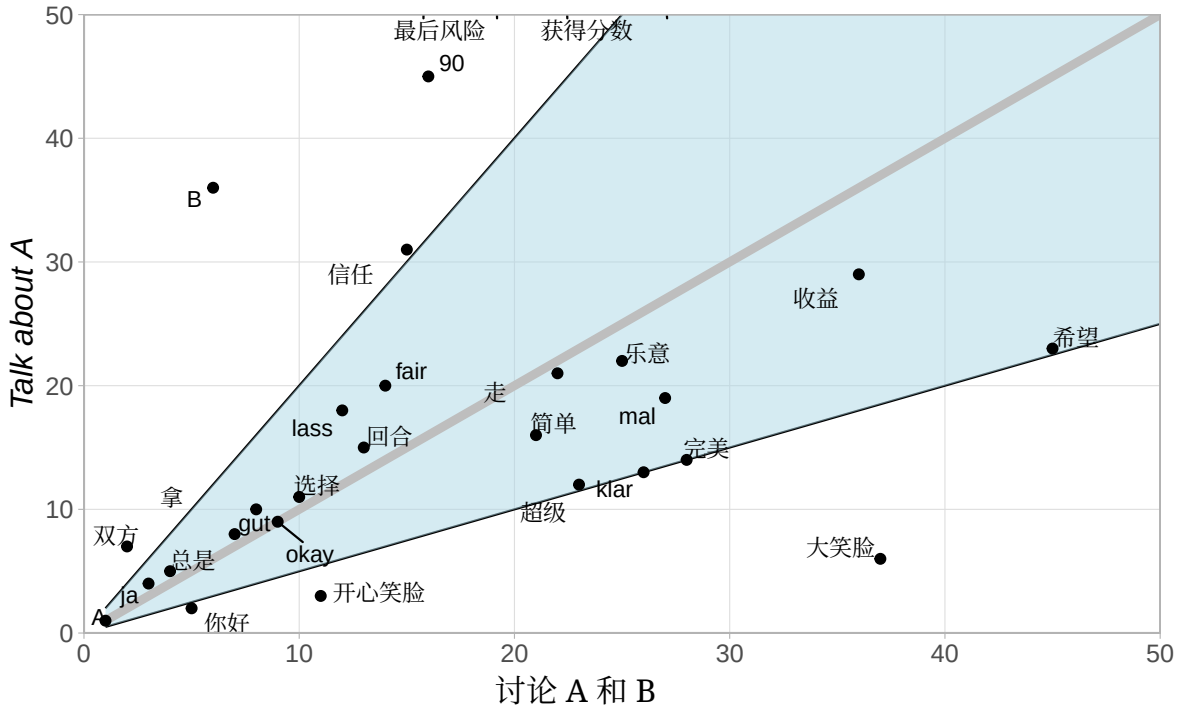
tment	
n0	Comm70	Comm0
	0.80	0.77
	(0.60)	(0.22)
	1.00	0.82
	(0.00)	(0.27)
	0.94	0.67
	(0.09)	(0.17)
	0.95	0.65
	(0.08)	(0.35)
	0.89	0.67
	(0.13)	(0.40)
	0.92	0.72
	(0.04)	(0.26)

s

atments. Numbers in brackets are

E 德语原始词元及其对应的图

这里展示了图中对应的德语原始词元。我们仅在分析聊天内容之后才翻译这些词元。



Fig图 5：两个簇中最常用的 30 个德语词元的频率排名 s.