

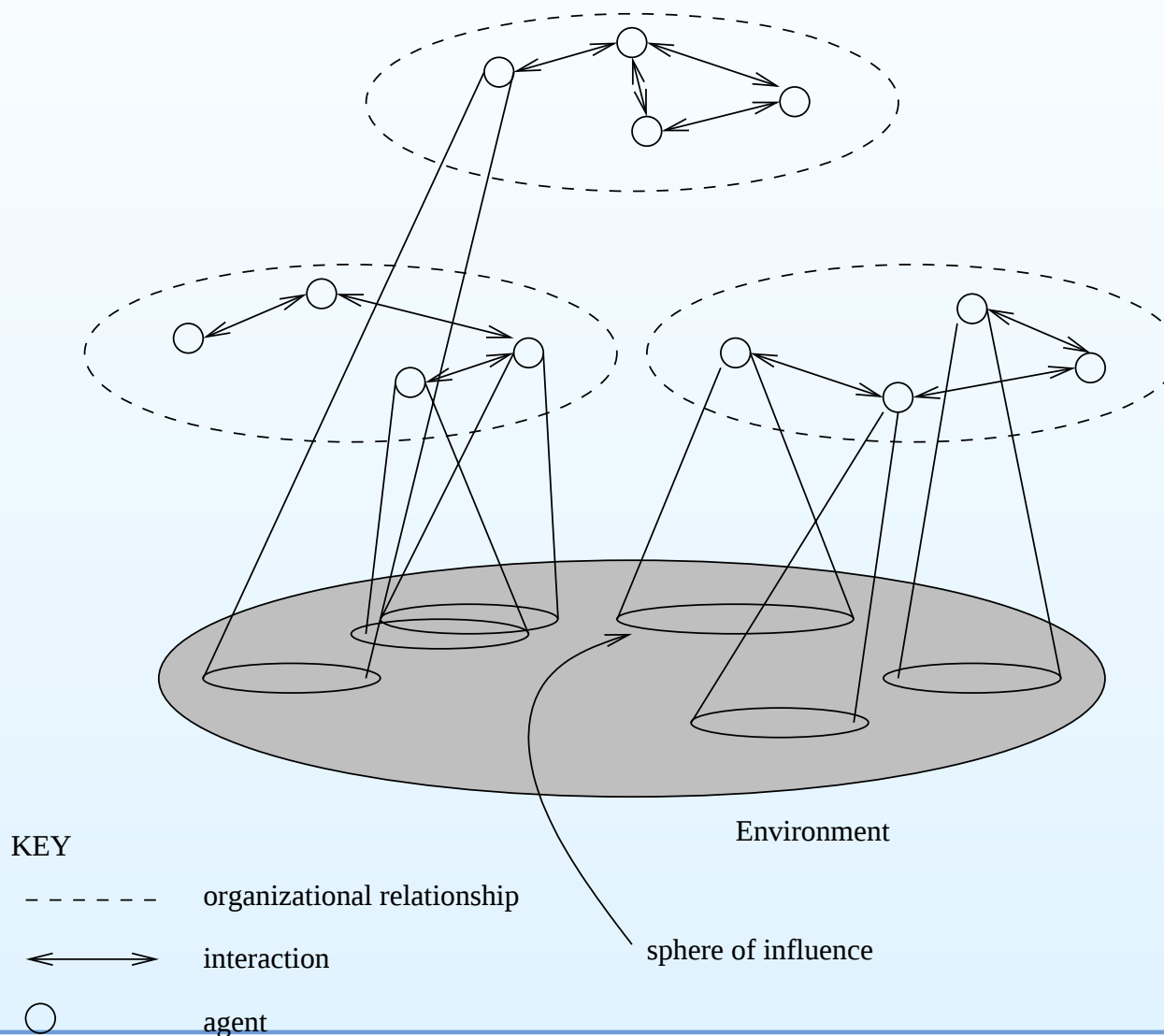
講義 7: 分散協調問題解決と組織

内容

1. 分散協調問題解決
2. 追跡ゲーム (評価環境)
3. 組織形態とその特性
4. 動的組織再編

1. 分散協調問題解決 (1/2)

マルチエージェントシステム (分散協調問題解決よりも広い概念)

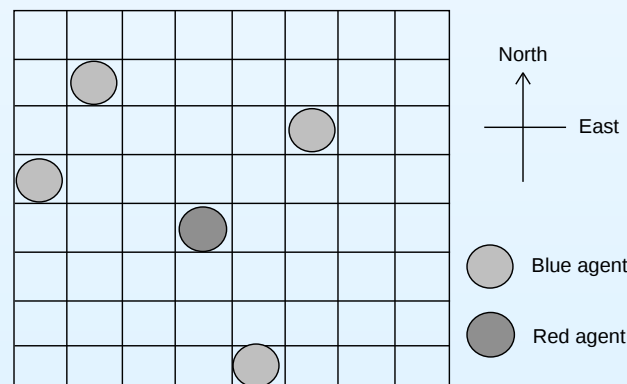


1. 分散協調問題解決 (2/2)

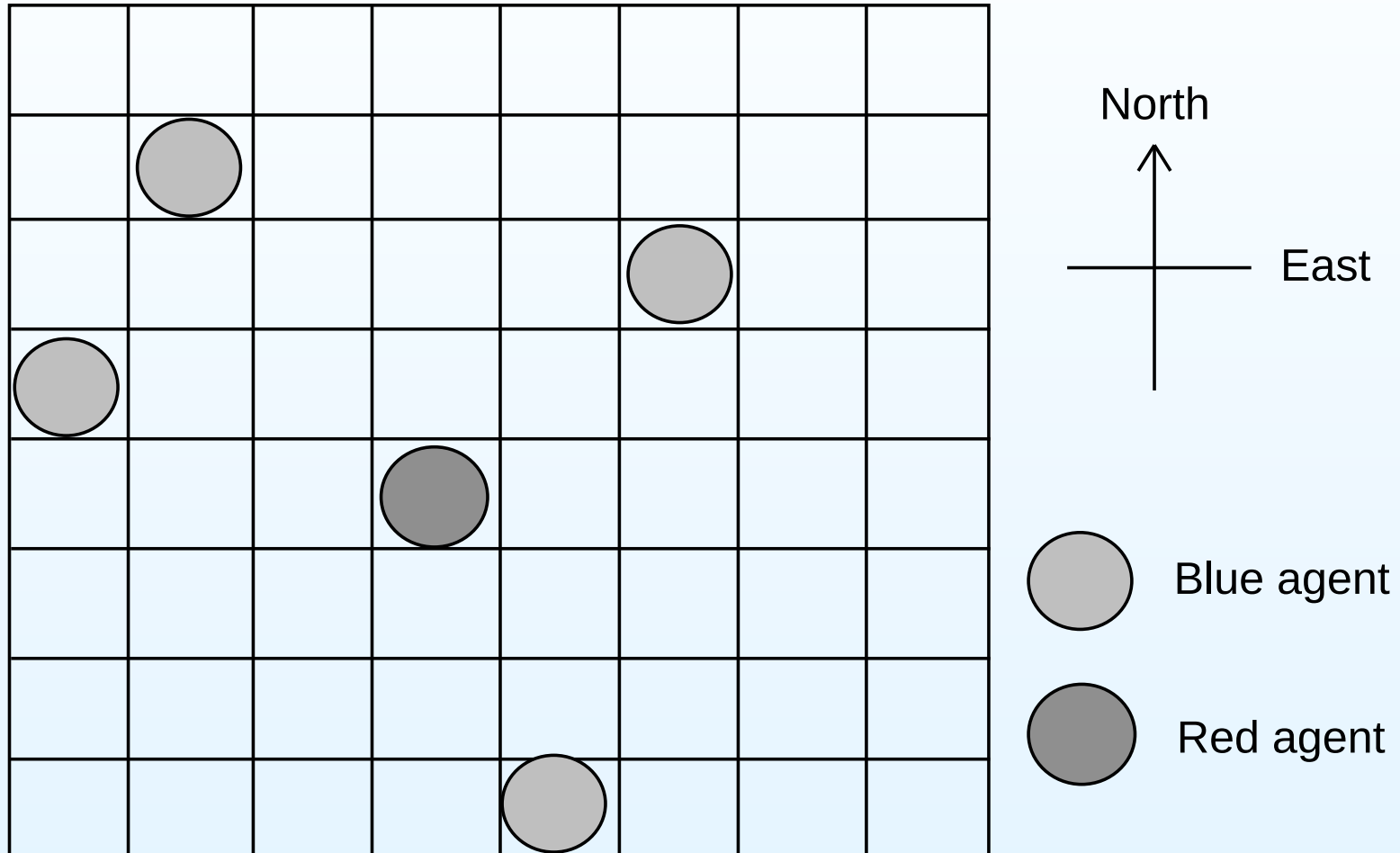
- マルチエージェント システムは以下の様な多数のエージェントを含んでいる。
 - 通信により相互作用する
 - 環境において行動できる
 - 異なる影響力の範囲をもつ
 - 組織的關係により関連つけられる
- マルチエージェント システムにおける研究課題
 - 共有ゴールの達成
 - 動的な問題空間への対応
 - 不完全情報への対処

2. 追跡ゲーム (評価環境)

- 目的
 - 組織形態が協調問題解決に与える影響の研究
 - 問題解決組織の設計
- 追跡ゲーム [Benda85]
分散人工知能研究における標準問題の一つ [Osawa93]
 - 4つの捕獲エージェントが1つの獲物を囲い込む
 - 各エージェントは無限に広がる2次元グリッド上を移動
 - 全てのエージェントは1サイクルに1動作(上下左右1グリッドへの移動)が可能



2. 追跡ゲーム (評価環境)



3. 研究事例 1: 組織形態とその特性 [Benda85](1/6)

- 問題の制限
 - 青エージェントは視界が限られている
 - 赤エージェントはランダムに逃げる
 - 青エージェントは他の青エージェントを見ることはできない
 - 青エージェントは, (1) その視界に入った場合, または (2) 赤いエージェントの位置が他の青いエージェントによって伝えられた場合においてのみ, 赤いエージェントを検知できる
- 研究の目的
 - 組織形態が協調問題解決に与える影響を調べる
 - 通信関係, 交渉関係, 制御関係という 3 つの関係
 - 通信量に基づく評価
 - 組織形態による共有解への収束の速さの評価

3. 研究事例 1: 組織形態とその特性 [Benda85](2/6)

- 2 エージェント の関係の分類

通信関係 (タイプ A):



交渉関係 (タイプ B):



制御関係 (タイプ C):



3. 研究事例 1: 組織形態とその特性 [Benda85](3/6)

- 基本演算

$S(X, Y)$: タイプ X の組織のどちらかのエージェントをタイプ Y の組織により置き換える.

- 関係継承に関する制約

1. $S(X, Y) \mid_{Y=A \text{ or } B}$: Y の両端のエージェントと X 中の置き換えられなかったエージェントとの関係は, X のエージェント間の組織関係を継承する.
2. $S(B, Y) \mid_{Y=B \text{ or } C}$: Y がタイプ B であれば, これは 1 の特殊なケースである. Y がタイプ C であれば, B の置き換えられなかったノードと C の始点がタイプ B の組織関係で結ばれる.
3. $S(C, C)$: 三つのエージェントが階層的に結合された組織構造となる.

3. 研究事例 1: 組織形態とその特性 [Benda85](4/6)

- 4 エージェント 組織の例

3. 研究事例 1: 組織形態とその特性 [Benda85](5/6)

- 性能評価

Organization	Moves	Transactions Cost	Control Cost	Costs per Move $E = (C+D)/B$
A	B	C	D	
a	9.6 (2.9)	473 (137)	0 (0)	49.1
b	9.3 (3.6)	387 (141)	11 (4)	42.8
c	9.6 (4.5)	293 (130)	21 (9)	33.7
d	8.8 (3.0)	280 (93)	19 (6)	33.9
e	8.4 (3.3)	320 (118)	18 (7)	40.2
f	6.7 (3.4)	72 (33)	23 (10)	14.2
g	7.1 (3.2)	98 (40)	24 (10)	17.2
h	7.4 (2.9)	127 (46)	25 (9)	20.5
i	7.7 (3.3)	186 (73)	26 (10)	27.5

3. 研究事例 1: 組織形態とその特性 [Benda85](6/6)

- 評価結果

- タイプ f の組織構造が最も効率の良い組織構造である。すなわち、最も移動コスト及びトランザクションコストが少ない。
- トランザクションコストは、組織構造の複雑さを直接反映する。コミュニケーション量は組織構造におけるボトルネックによって反映される。
- 交渉が組織間の協調における主なオーバーヘッドとなっている。
- タイプ f から i までによって代表される単一の組織構造の方が、トランザクションコストの面で優れている。

⇒ システム全体として階層的な制御系統を持つ組織の方が、問題解決において優れている

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (1/)

- 研究の目的 [Stephens89]
 - 自律エージェントの評価を行なう
 - 最終局面による評価 (捕獲, 逃避, 手詰り (stalemate))
 - ヒューリスティックコストによる評価

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (2/)

- 問題の制限

領域を 30×30 に制限したことを除けば Benda らと同じ

- 青エージェントは視界が限られていない
- 赤エージェントはランダムに逃げる
- 青エージェントは他の青エージェントを見ることはできない
- 青エージェントは,
 1. その視界に入った場合
 2. 赤いエージェントの位置が他の青いエージェントによって伝えられた場合においてのみ, 赤いエージェントを検知できる

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (3/)

- 組織を特徴付ける尺度

Cooperation 協力関係を示す尺度 (情報交換も協力の一種)

Organization 組織構造を示す尺度 (Benda らのリンクに相当)

Dynamics エージェント間のリンクの時間に関する変化を示す
尺度

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (4/)

- エージェント 組織の分類

自律エージェント 組織

Cooperation エージェントは他のエージェントに対し全く
中立的

Organization Benda らのこのような組織的構造存在しない

Dynamics エージェント 間の組織的な関係は静的であり,
決して変化しない

通信エージェント 組織

Cooperation 青いエージェント の一つが捕獲位置に入っ
たならば, 他の青いエージェント はそこに移動することが
できない

Organization 通信リンクがエージェント 間に存在する

Dynamics 捕獲位置を占める順序によって階層構造が作ら
れる

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (5/)

- エージェント 組織 (システム) の分類 (続き)

交渉エージェント 組織

Cooperation 全ての青いエージェントは同じ目的に対して協調的であり，意図や計画を通信を通じて共有することができる

Organization 組織構造 (同盟・非同盟) が交渉を通じて作られる

Dynamics 位置選択は全ての動きに対して決定され，機会主導的にエージェント間の関係が変化する

制御エージェント 組織

Cooperation 従属的なエージェントは，制御エージェントに完全に協力する

Organization 制御エージェントと従属的なエージェントの間にマスタ-スレーブ関係が存在する

Dynamics 制御関係は決して変化しない

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (6/)

- 性能評価の方法
 - 移動コスト Benda らと同様
 - ヒューリスティック効率 (次ページ)
 - 最終局面の重心位置 (捕獲, 逃亡, 手詰り (stalemate))

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (7/)

- ヒューリスティック効率

ヒューリスティック・コスト D_{ij} ステップ i におけるエージェント j の位置から捕獲位置までの直線距離

トータル・ヒューリスティック・コスト T

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 D_{ij}$$

正規化ヒューリスティック・コスト N

$$N = \frac{T}{\sum_{j=1}^4 D_{1j}}$$

ヒューリスティック効率 E

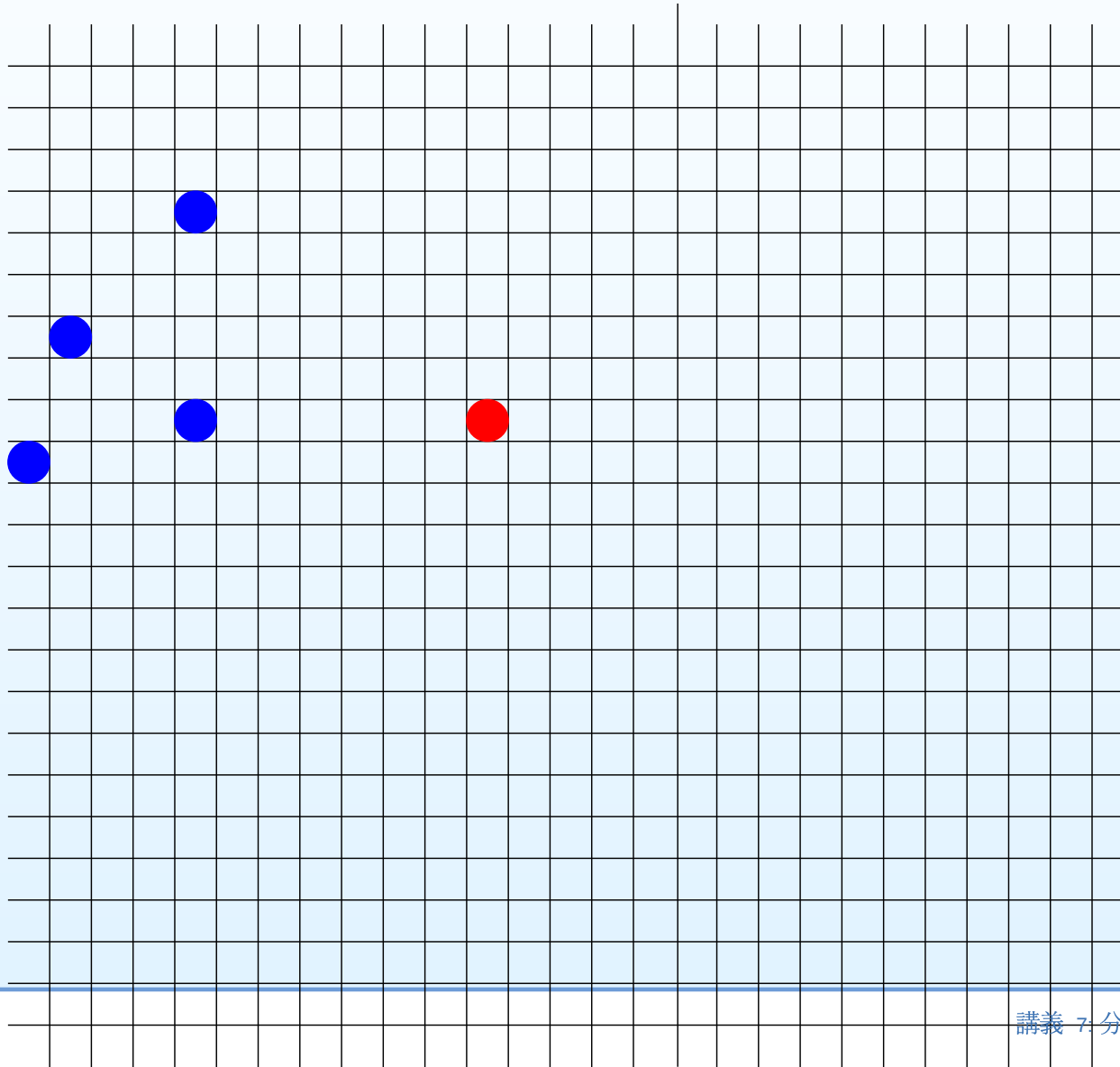
$$E = \frac{1}{N}$$

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (8/)

- シナリオ
評価のために 6 つの特徴的なシナリオ (初期状態) を設定
- シナリオの分類
タイプ 1 シナリオ 4 や 5.
 - 青いエージェントは赤いエージェント からかなりはなれている
 - 相当量の移動を余儀なくされる
 - 2,3 の青いエージェントが赤いエージェント に迫ったとしても, 空いている側から赤いエージェント が逃げてしまうことが起こり得る
- タイプ 2 シナリオ 1 や 4.
 - 4 つの青いエージェント とそれらの重心が, 赤いエージェント の一方の側に集中
 - 計画立案が非常に困難

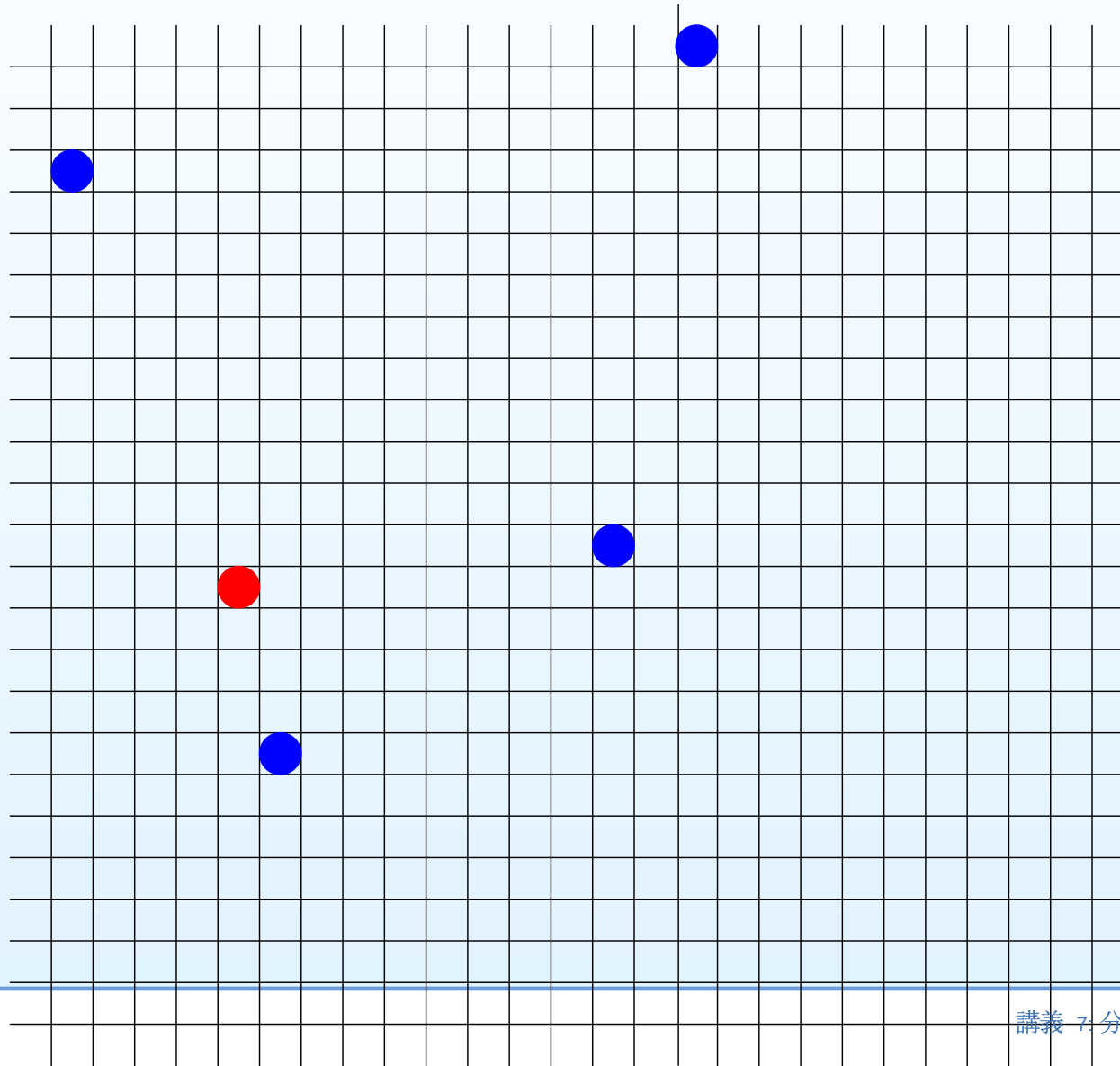
4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (8/)

シナリオ 1



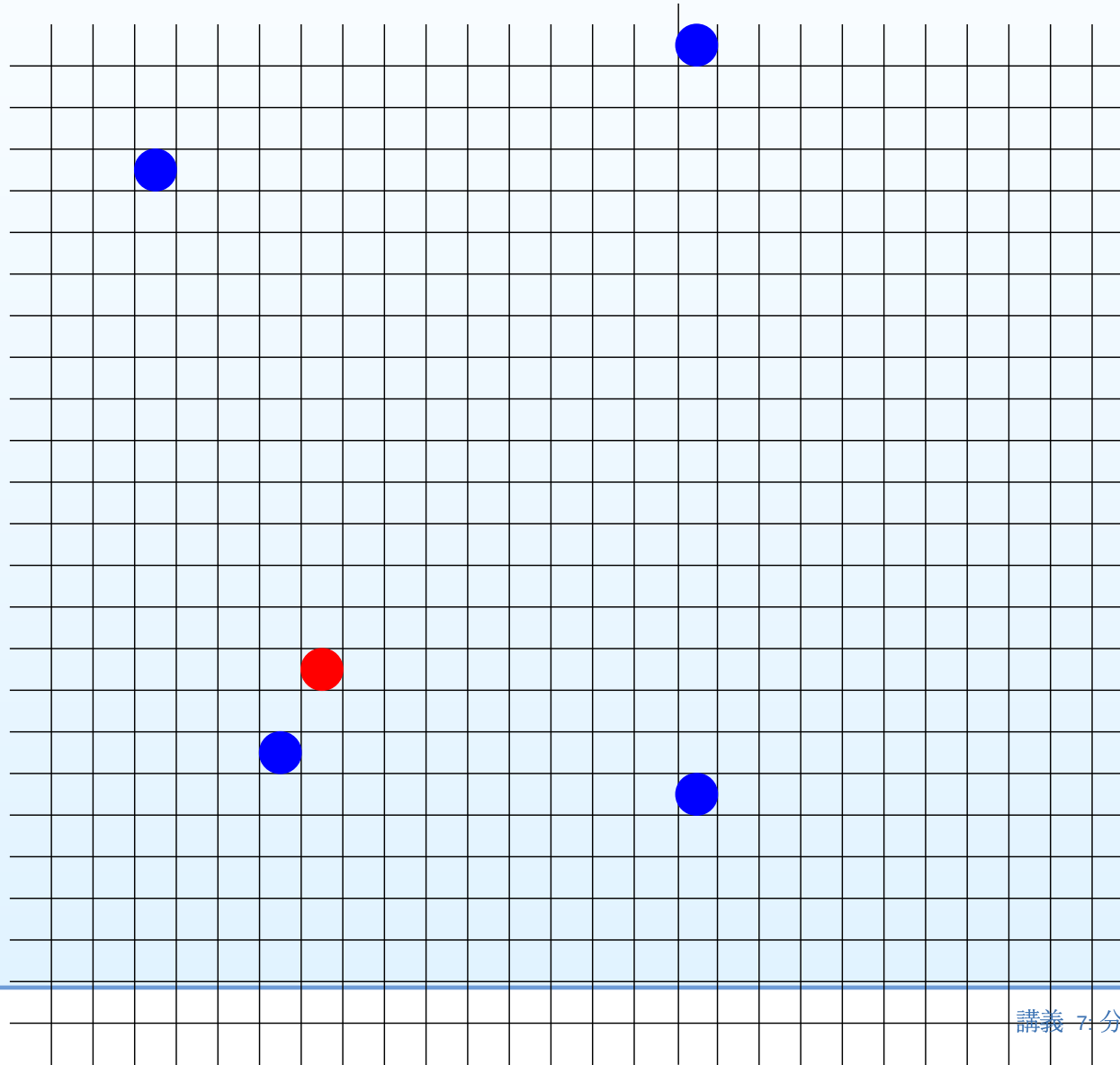
4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (8/)

シナリオ 2



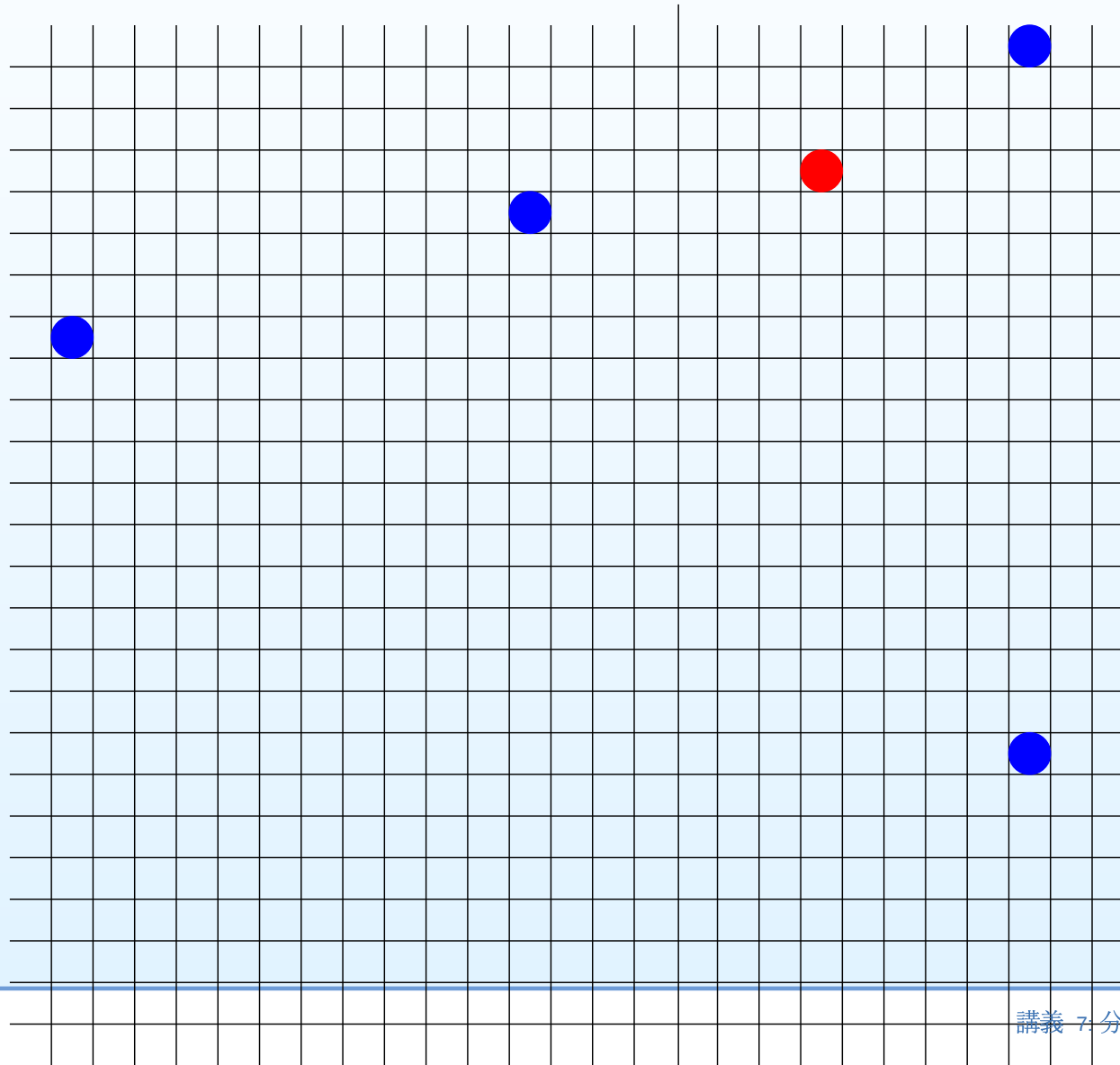
4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (8/)

シナリオ 3



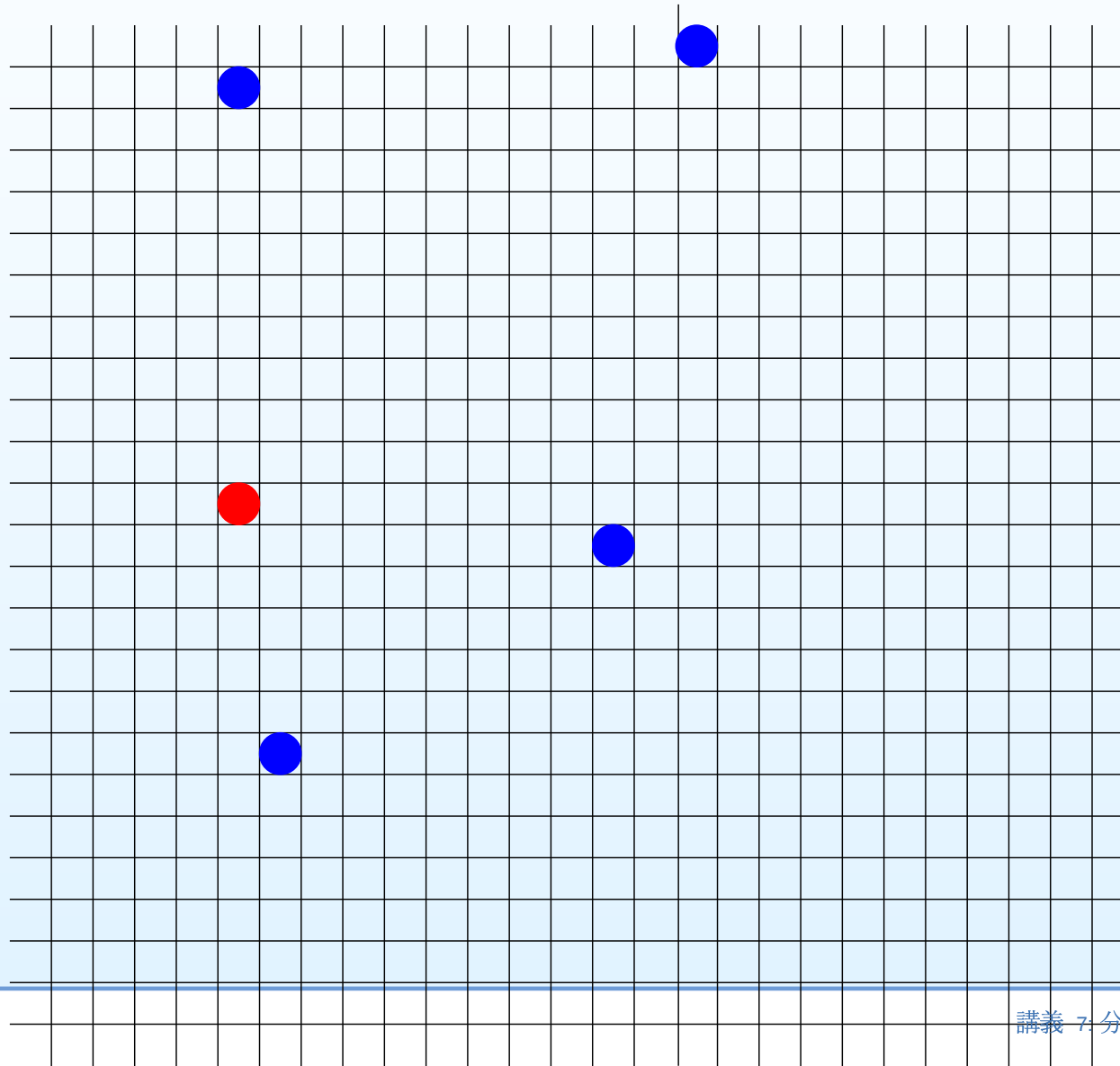
4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (8/)

シナリオ 4



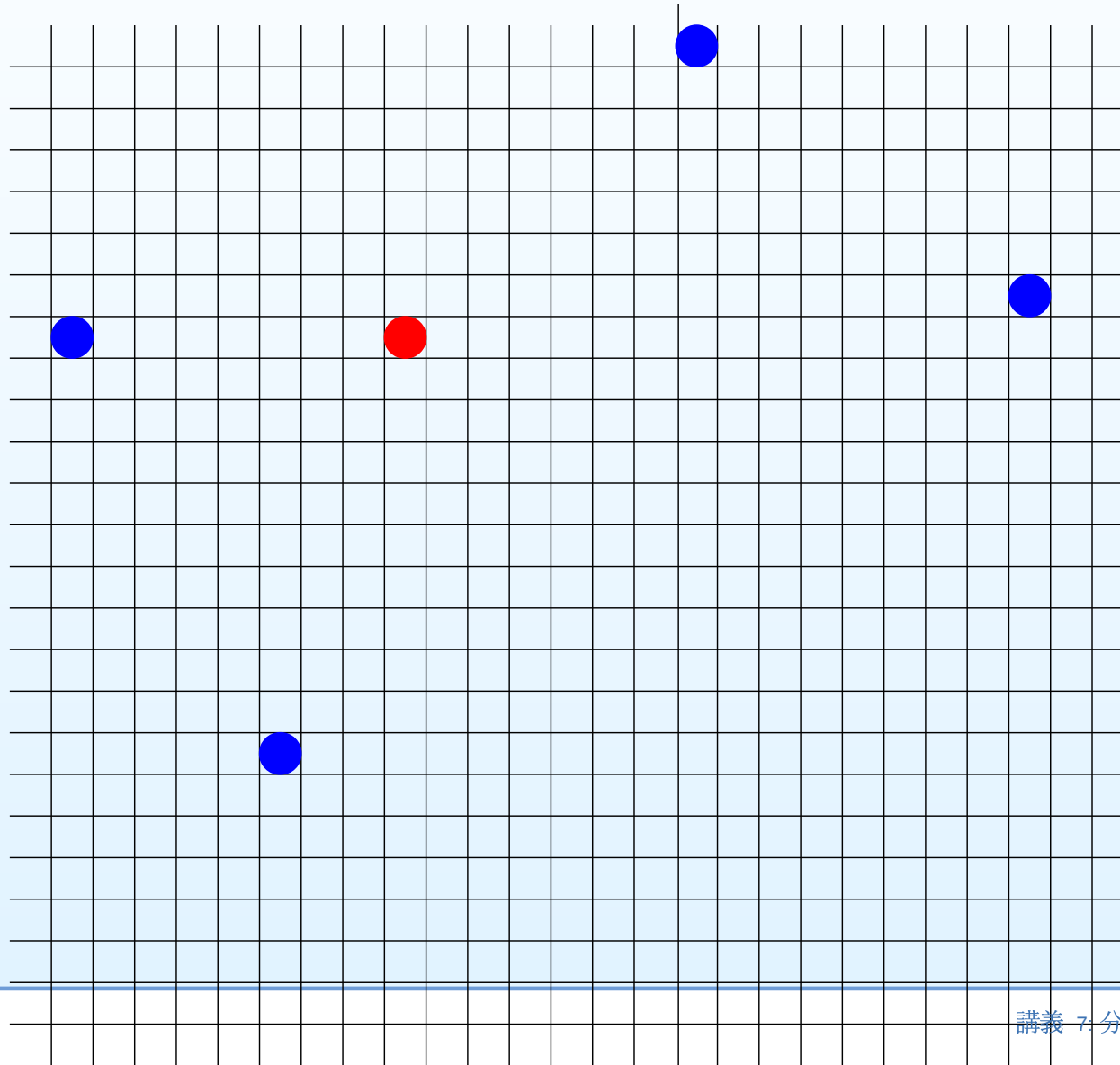
4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (8/)

シナリオ 5



4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (8/)

シナリオ 6



4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (9/)

評価結果 (性能評価の比較)

組織 形態	シナリオ 1			シナリオ 2		
	移動コスト	効率	結果	移動コスト	効率	結果
自律	10	2.95	逃亡	10	2.74	手詰り
通信	10	3.19	逃亡	10	2.65	手詰り
交渉	11	2.32	手詰り	11	3.16	捕獲
制御	17	1.59	捕獲	12	2.62	捕獲

組織 形態	シナリオ 3			シナリオ 4		
	移動コスト	効率	結果	移動コスト	効率	結果
自律	7	2.65	手詰り	10	2.23	手詰り
通信	7	2.57	手詰り	10	2.13	手詰り
交渉	8	2.82	捕獲	11	2.63	捕獲
制御	10	2.07	捕獲	12	2.67	捕獲

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (10/)

評価結果 (性能評価の比較)

組織 形態	シナリオ 5			シナリオ 6		
	移動コスト	効率	結果	移動コスト	効率	結果
自律	7	2.22	手詰り	7	2.54	捕獲
通信	7	2.22	手詰り	7	2.54	捕獲
交渉	8	2.85	捕獲	8	2.54	捕獲
制御	10	1.89	捕獲	10	2.10	捕獲

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (11/)

評価結果 (続き)

- シナリオ 1 において交渉エージェント 組織は制御エージェント 組織よりも 46% 程度ヒューリスティック効率が良い
⇒ 制御エージェント 組織の初期段階において制御エージェントが他の青いエージェントの動きを抑制してしまっている
- シナリオ 4 では制御エージェント 組織が他のものよりもヒューリスティック効率において勝っている. しかし一般的には, 交渉エージェント 組織がランダムに動き回る赤いエージェントを捕まえることにおいて, より効率的で柔軟性がある

4. 研究事例 2: 組織形態とその効率 (12/)

評価結果 (続き)

- すべてのシナリオを通じて, 交渉エージェント 組織はより少ない動作数で赤いエージェント を捕らえることに成功
- 制御エージェント 組織は常に最大のステップ数を要している. 一方で, このシステムだけが常に赤いエージェント を捕らえることに成功
- 自律エージェント 組織と通信エージェント 組織は, シナリオ 6 においてのみ赤いエージェント を捕らえることに成功

5. 研究事例 3: 動的組織再編 [Osawa95a,b](1/)

- 研究の目的
 - 不完全情報下での局所プランと大局プランの整合
 - 環境の変化への組織としての適応
 - 効率の良い協調スキーマの考案と評価

5. 研究事例 3: 動的組織再編 [Osawa95a,b](2/)

- アプローチ
 - 動的組織再編
 - 環境の変化に適応した組織スキーマの変更
 - メタレベル整合戦略
 - 共有目標の達成度合の変化率の監視
 - 情報の確実さ，共有度合
 - エージェントの自由度の変化

5. 研究事例 3: 動的組織再編 [Osawa95a,b](3/)

- 基本組織スキーマ

自律エージェント 捕獲エージェントと獲物の位置をもとに、最も距離の近い捕獲位置が選ばれる。 A^* 探索と同様

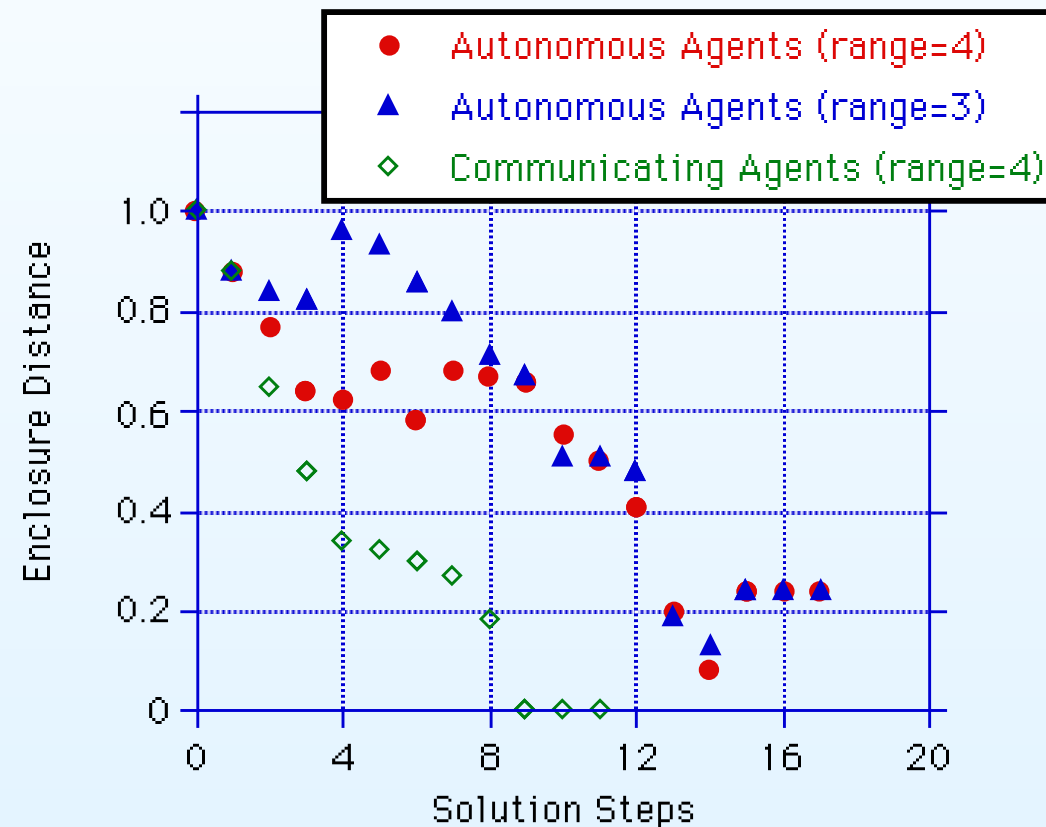
通信エージェント 自律エージェント + 位置についての通信

交渉エージェント 捕獲位置の優先リストに基づく交渉
優先リストの例: ((up 5.3) (left 6.0) (right 6.7) (down 7.2))

制御エージェント 4つの捕獲エージェントのうち1つが制御エージェントとなり他の3エージェントの動きを制御する

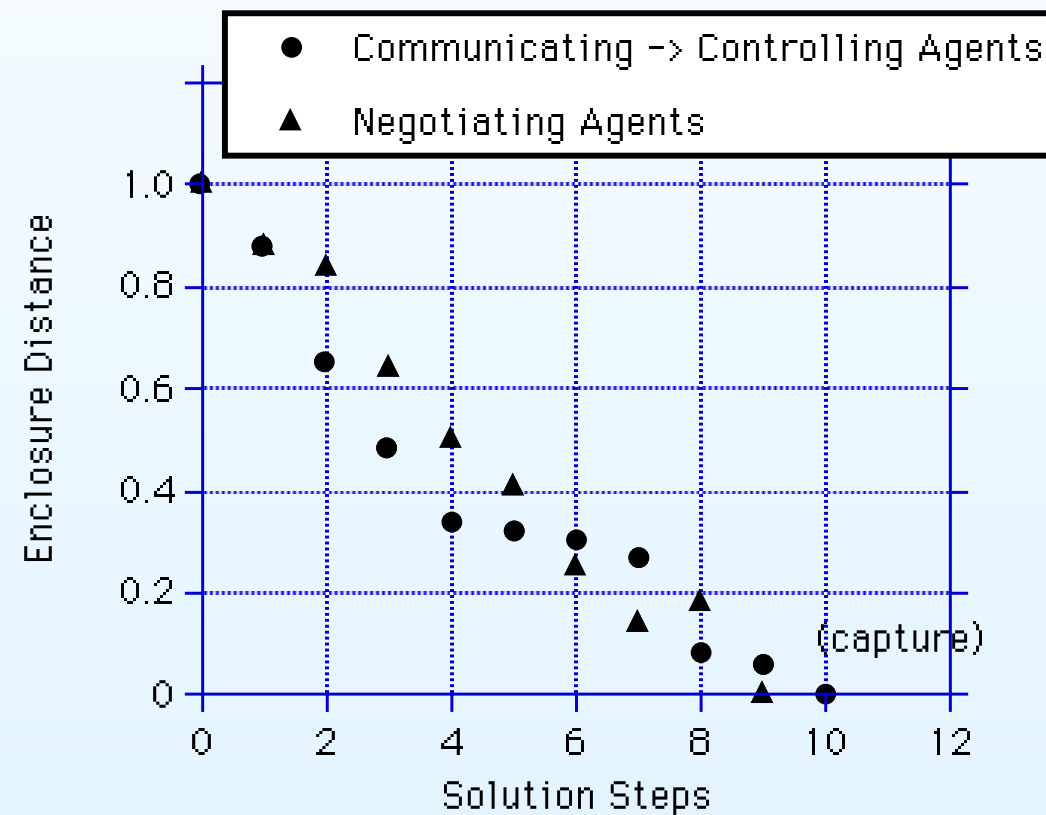
5. 研究事例 3: 動的組織再編 [Osawa95a,b](4/)

- 予備実験 (視界制限の囲い込みに与える影響)



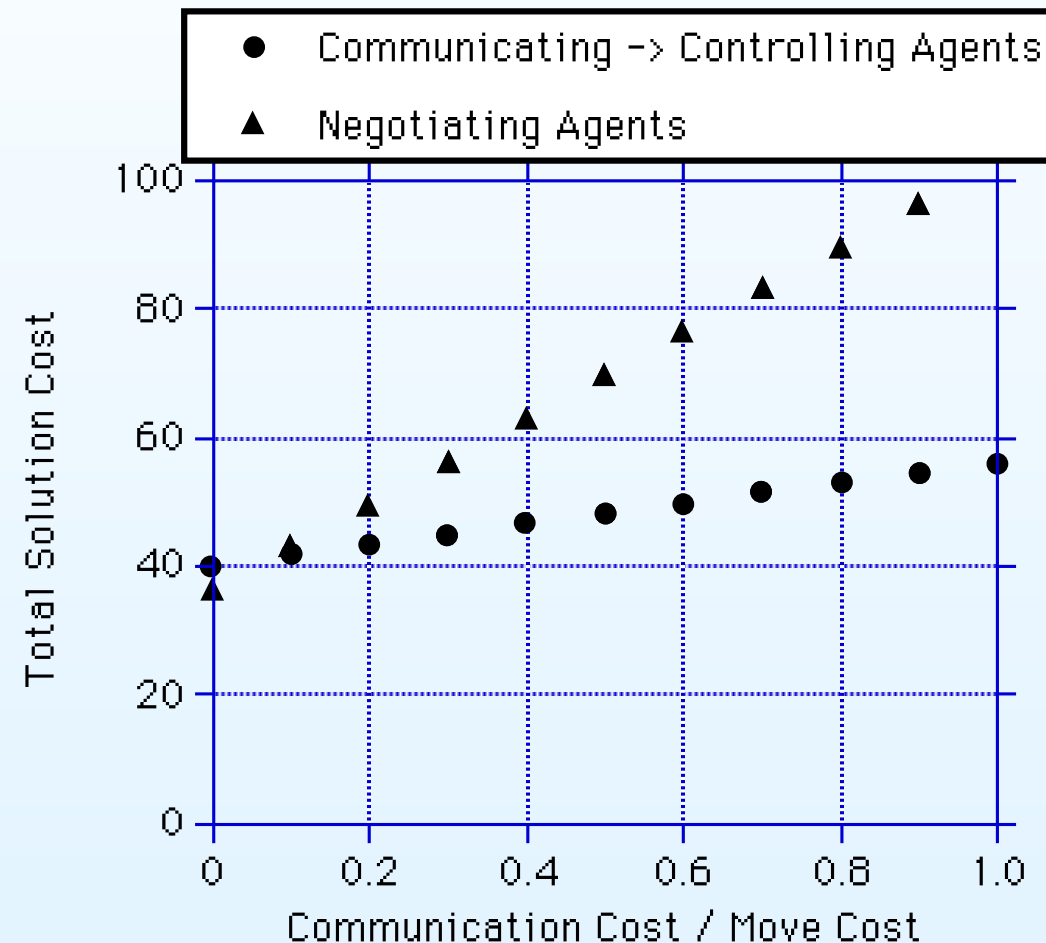
5. 研究事例 3: 動的組織再編 [Osawa95a,b](5/)

- 動的組織の囲い込過程



5. 研究事例 3: 動的組織再編 [Osawa95a,b](6/)

- 通信コスト 対移動コスト の比率と総問題解決コスト



5. 研究事例 3: 動的組織再編 [Osawa95a,b](7/)

- 効率のよい組織を設計するために考慮すべき要因
 - 共有目標への距離の定常化
 - 共有情報の確実さ
 - 局所プラン選択の自由度

5. 研究事例 3: 動的組織再編 [Osawa95a,b](8/)

- メタレベル整合戦略 (概要)
 1. 自由度の高い組織スキーマからスタート
 2. 共有目標達成の判定
 3. 共有情報の確実性を高める
 4. 共有目標への距離 (充足の度合) が改善できなければ, より自由度の低い (局所プランの整合に優れた) 組織スキーマへ変更する

5. 研究事例 3: 動的組織再編 [Osawa95a,b](9/)

- 動的組織再編の特徴
 - 不確実性が高い状態では自律的に探索
 - 共有解近傍では，エージェントの自由度を制限することにより，局所プランの整合のためのオーバヘッドを削減

参考文献

Benda85 Benda, M. and Jagannathan, V. and Dodhiawalla, R. (1985) “On Optimal Cooperation of Knowledge Sources”, *BCS-G2010-28*, Boeing AI Center, Boeing Computer Services.

Osawa93 大沢 英一, 沼岡 千里, 石田 亨 (1993), 「分散人工知能における標準的小問題」, コンピュータソフトウェア Vol. 10, No. 3, 3-19. 日本ソフトウェア科学会

Osawa95a Osawa, E. (1995) “A Metalevel Coordination Strategy for Reactive Cooperative Planning”, *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95)*

Osawa95b 大沢 英一 (1995), 「協調プランニングにおける動的組織再編とメタレベル整合戦略 –追跡ゲームにおける考察–」, コンピュータソフトウェア Vol. 12, No. 1, 43-51. 日本ソフトウェア科学会