

F-001

探索的な水産資源獲得競争における自律性と利己性を維持した調整機構 The adjustment mechanism which maintained the autonomy and self-interest in marine-resources acquisition competition

菅野 勇紀† 齊藤 啓介‡ 三上 貞芳‡ 長野 章‡
Yuuki Kanno Keisuke Saitou Sadayoshi Mikami Akira Nagano

1. はじめに

昨今の社会情勢においては、資源の効率的で持続可能な利用方法に関する関心が極めて高まっている。このような状況は石油等の枯渇性燃料資源においては最も特徴的に現出しているが、農林水産業といった再生可能な資源産業についても近年、こうした問題意識に基づいたさまざまな提案がなされているところである。

こうした中、水産業、特に天然資源を対象とした漁業における提案や取り組みについては注目すべきであると思われる。林業や農業といった高度かつ精密な管理が可能な生産業と異なり、天然資源を対象とした漁業は生産過程及び価格形成において極めて不安定な産業といえる。すなわち、生産物である魚介類は生育・漁獲環境の影響を強く受け、そのコントロールは漁獲者にはない。言い換えれば、好漁となるか否かは漁獲者の技術に依存しない傾向がある。また、漁獲時点に限定すれば、漁獲技術が生産物の品質に影響することはほとんど考えられない。保存・運搬等の技術の巧拙によりその後の品質が大きく変わることはあるが、漁師の腕が良いから近隣の船よりも味が良い魚が網にかかった、ということは一般に考えられない。こうしたことは、例えば栽培・管理技術の良否が収穫内容に直結する稲作等と極めて対照的である。以上のことから、水産業においては成果の良否が漁場・資源の良否に特徴的に依存しており、良質な資源へのアクセスを確保することは他産業に比較してより重要であるといえることができる。

そして、このように考えると、水産業においては良質な資源を確保するための競争が構造的に定義されているのであり、特定資源への集中が生じやすいと言える。そのような状況では、ある資源について評判となれば、その資源は早期に消費しつくされる恐れがある。一方で、上述の通り、良質な資源の持続的利用は水産業の成立に関わる極めて重大な命題である。こうして、水産業においては、資源の集中的・収奪的利用を何らかの方法で制限しつつ、効果的かつ持続的に利用する獲得競争の調整機構の検討が必要となる。

2. 獲得競争の調整機構

この点、上述の通り生産物は環境等に依存するものであり、すべての資源の状態量や分布を正確に把握することはできない。したがって、何らかの管理者が資源量に応じて需要者に公平かつ持続的に分配するという方法が取れない。すなわち、資源市場をコントロールする上位者を想定することが難しい。そこで、基本的に資源市場は自由な意

思を持つ主体による獲得競争により構成されると考えられる。

本稿では、こうした自由な意思を持つ主体による水産資源獲得競争の調整機構の実現手法として、マルチエージェントシステムを用いた市場機構の設置を提案する。エージェントは自律的かつ知的な行動主体であり、各自が特定の利益を代表し、効用最大化原理に基づいて合理的に行動する。

マルチエージェントシステムによる調整機構は二通りの構成が考えられる。ひとつはエージェント間の競合調整を一種の分散制約充足問題(DCSP)と捉える考え方である。この場合、エージェントは単なる探索器に過ぎず、競合調整機能は上位の制御者に期待することになる。そしてもうひとつは、エージェント間の競合調整をエージェント=プレイヤーに委ねる考え方である。この場合、エージェントの合理性により、市場は非協力 n 人ゲームを構成する。

しかし、水産資源のような開放的な市場モデルにおける各主体は、プレイヤーの利益を代表して自己効用の最大化を目指すものであり、結局、各主体は利己的な存在であるから、調整を受けて自己の選択を行うという概念にそぐわない。また、前述のように水産資源ではその状態量や分布、性質等があらかじめ明らかではないことが一般である。良質であると思われる資源がそうではないこともあろうし、豊富であるが期待された状態量が僅少であることもあると考えられる。つまり、不定性で不定形な分散した資源についての獲得競争であり、そのような状況をコントロールできる管理者は想像し難い。さらに、そもそも上位者による制御が可能であるならば競合調整機構は不要である。そこで、水産資源における獲得競争調整機構は利己のエージェントにより実現されることが有効であると考えられる。

一方、こうした利己的なエージェントによる資源獲得競争は非協力 n 人ゲームを構成するが、水産資源は有限資源であるから、社会的ジレンマに陥る。これを特徴的に表したモデルは n 人型チキンゲームであり、「共有地の悲劇(The Tragedy of Commons)」として端的にモデル化されている。すなわち、各個体が自己の効用を最大化しようと目的合理的に行動することで、個体の集合である群の効用が損なわれ、結局は各個体の将来的な効用の低下、とりわけ資源の枯渇による破局を招来することになる。こうした社会的ジレンマ状況を克服するために、本提案機構における競争主体は、何らかの操作・制約によりその合理性を制限されるべきことになる。つまり、得られるはずの利益を諦めるという行動を選択することを迫られる場面を設定することになる。こうして利己のエージェントは、利己である本質を維持したままに調和的に振舞うことが求められることになる。開放性を前提としたマルチエージェントシステムによる競合調整機構の中で、このような取り扱いが

† 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

‡ 公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科

まったく例外的なものである。そこで、こうした操作・制約をどこに、どのような形で設定するべきかが問題となる。

3. 提案手法

筆者らは、エージェントの自律性と利己性を維持しつつ、市場参加者に環境調和的振舞いを行う誘因を与えるような資源探索・獲得機構について提案している。こうした空間を、今後「提案機構」と呼ぶ。提案機構について以下に概説する。

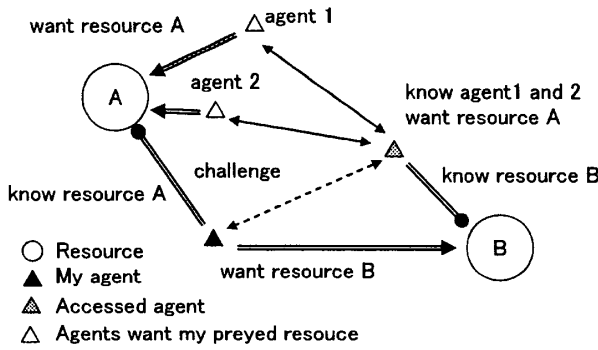


図1. 提案機構のイメージ

開放的な市場における取引主体の自律性と利己性は重要であり、そうした主体の選択と判断を直接修正するような枠組みを規定することはできるだけ避けるべきであると考え。そこで、分散資源の獲得機構が個別のエージェントにとっては資源探索機構である点、及び個別のエージェントは原則としてそれを利用するプレイヤーの戦略によって行動するという点に着目し、プレイヤーに対して環境調和的に振舞うことへの誘因を生じさせるような資源探索・獲得空間を構築することが有効であると考えた。

提案機構では、各エージェントは、探索に有用な情報を他エージェントと戦略的に取引する能力を有する。ただし、そのような取引を行うためには、資源の非調和的な獲得を抑制する必要がある。非調和的な獲得とは、他にも選択し得るような資源が存在するのに、多数の他エージェントが目的としているような資源から獲得するような行動を指す。非調和的な獲得を行ったエージェントは、他エージェントから取引を拒絶される可能性が高くなる。そうすると、厳しい資源環境下では当初目的とする資源にすら到達できない可能性がある。そこで、提案機構で優位に資源獲得を行おうとするプレイヤーは、自己のエージェントに環境調和的な振舞いを教示することが期待される。もっとも、そのような振舞いを行う必要がないと考えるプレイヤーは、単に見つけ次第資源を獲得するというタスクをエージェントに教示するかもしれない。また、環境調和的振舞いとはどのようなものなのかについても定義をしないから、各プレイヤーがエージェントの行動定義を行う必要がある。前者は、提案機構がプレイヤーに示す利己性の許容の由縁であり、後者は自律性の由縁である。一律に制約を用意する調整機構と異なり、各プレイヤーはこれらの「ゆれ」を通して、独自の戦略に基づく資源獲得競争を試みる事が可能となる。

4. 資源探索・獲得空間の構成

仮想距離を有する2次元空間を提案機構における資源探索・獲得空間として定義する。距離は、エージェントが1期に活動できる行動の大きさを表しているとともに、エージェントがもつ活動原資を1単位消費する行動も表している。水産資源の探索空間では、これらは単純に現実の距離や燃料と対応することがあるかもしれない。しかし、一般に、いずれかの海面において多数の船が未知の資源を目指して探索活動を行うという場面を想像することは難しい。したがって、ここでの仮想距離と活動原資は抽象化された各エージェントの活動コストを言う。例えば、ネットワーク上の膨大な市場空間での検索時間・応答時間等がこれにあたるだろう。

資源探索・獲得空間には資源 $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ が配置される。エージェント $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ はプレイヤーによって投入される。資源は有限であり、複数存在する。

エージェントには獲得すべき資源の属性と量がタスクとして与えられるが、資源同士には代替性がある場合がある。水産資源では、ある海域で産出される特徴のある特定の魚種が希望される場合もあれば、多獲性魚種のように、魚種さえ同じであればどのようなものでもかまわないとされるであろう場合も存在する。後者の場合には、目的とする資源が不利であれば、代替性がある別の資源でも可とされよう。そこで、提案空間ではエージェントはタスクとして与えられた資源属性と代替性がある資源を探索すればよい。代替性は資源の属性によりプレイヤーがエージェントに対して判断関数を付与する。エージェント A_i にタスクとして与えられた属性を有する資源と代替性がある資源のことを「エージェント A_i の目的資源」と呼び、

$$E_i^{aimed} (\subseteq E)$$

で表す。

前述のようにエージェントは有限の活動原資の範囲内でのみ活動可能である。活動原資はプレイヤーによって与えられ、定率で消費する。原資が尽きた場合には環境から退場する。

エージェントの行動履歴はエージェント内のメモリに蓄積される。メモリの構成を表1に示す。

name of attribute	content
Owner (player)	{ identifier }
Target resource information	{ numbers, identifier }
Reached resource information	{ numbers, identifier }
Preyed resource information	{ numbers, identifier }
Reached agents information	{ numbers, each agent attributes { identifier, indication information {...} }

表1. エージェントのメモリ構成

エージェントが探索過程で資源に隣接した場合、資源に到達したと呼ぶ。到達した資源の情報はエージェントのメモリに記録される。エージェント A_i が到達した資源を「 A_i の到達資源」と呼び、以下のように表す。

$$E_{i,t}^{accessed} (\subseteq E)$$

到達資源がエージェント A_i の目的資源だった場合、資源は獲得される。エージェント A_i が獲得した資源を「 A_i の

獲得資源」と呼び、以下のように表す。

$$E_{i,t}^{acquired} (\subseteq E, \subseteq E_i^{aimed}, \subseteq E_{i,t}^{accessed})$$

エージェントが探索過程で他のエージェントと隣接した場合、「他エージェントと接触した」という。エージェント A_i がこれまで接触したことがあるエージェントの集合を以下のように表す。

$$N_{i,t} (\subseteq A, \subseteq (A \setminus A_i))$$

エージェントは常に「自己の目的資源の識別子」、「自己の獲得資源の識別子」の2つの情報を公開しつつ探索する。これらを「開示情報」と呼ぶ。つまり、エージェント同士では、それぞれどのような資源を探しており、これまでにどんな資源を獲得してきたかが常に把握されている。ただし、開示情報には到達資源の位置情報などは含まれないため、これらを参照するために「交流」を持ちかける必要がある。交流とはエージェント間の情報交換と、その可否を判断するための一連の所作である。交流を求められたエージェントは以下のように判断する。

まず、自己の目的資源の性質と相手の目的資源の性質がまったく一致しない場合には許諾しない。相互に社会的関係を有しないので、利己的振る舞いの原則に立ち返るためである。

次に、式(1)により相手エージェント A_j の調和的態度に関わる指標 $F(A_i, A_j)$ を評価する。

$$F(A_i, A_j) = \begin{cases} 0 & \text{if } O(A_i, A_j) + P(A_i, A_j) > |E| \times \nu, \\ 1 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

$$O(A_i, A_j) = \left| E_j^{acquired} \cap \sum_{A_k \in N_{i,t}} E_k^{aimed} \right| \quad (2)$$

$$P(A_i, A_j) = \left| (E_j^{aimed} \cap E_{i,t}^{accessed}) \setminus E_{j,t}^{acquired} \right| \quad (3)$$

式(2)は相手の獲得済み目的資源が自己の接触済み他エージェントの目的資源としてどの程度の頻度で現れたか、式(3)は相手の獲得済み目的資源と代替性がある資源が他に存在したかを表している。 ν は相手エージェントをどれだけの厳しさを評価するかを表す係数で、 $0 \leq \nu \leq 1$ である。

$F(A_i, A_j)$ が1でない場合には交流は成立しない。すなわち、その場合、相手は多数のエージェントが目的資源として考えている資源から採集を行い、かつ、他に選択しうる資源があったことを示している。このプロセスは、いわばエージェントに以下のような価値観を擬制することになる。すなわち、他にも要求が満たせる方法があったにもかかわらず、結果的に枯渇が予想されるような資源から採集を行った相手には、それが善意であったか悪意であったかに関わらず、便宜を図ることを拒否するような判断である。

交渉が成立した場合には、相手のメモリ内容をすべて参照することができる。そして、自己の未獲得の目的資源と相手の到達資源に代替性がある場合、その資源に最小の燃料で到達することができる。つまり、他エージェントと交

流することで目的資源に効率的に到達することが期待できることになる。また、交渉が成立した場合には、相手の到達資源は自己の到達資源として記録される。交流が成立しなかった場合には、エージェントは自己の能力の範囲で通常の探索を継続することになる。その場合にも罰則などはない。

提案機構ではエージェントは戦略を選択できる。すなわち、他エージェントと積極的に交流しようと試みる戦略 (Cooperative Strategy: 友愛戦略)、他エージェントと交流するかどうかをその都度決定する戦略 (Opportunity Strategy: 日和見戦略)、他エージェントと一切交流しない戦略 (Prideful Strategy: 独善戦略) が用意される。

友愛戦略を採用するエージェントは、到達したすべてのエージェントに対して交流を試みる。日和見戦略を採用するエージェントは、相手エージェントの開示情報に含まれる「接触エージェント数」が多い場合には交流しない。接触エージェントが多い場合には、自己の獲得資源を目的とするエージェントに出会っている確率が高く、自己の全メモリを提供しても無駄に終わる可能性が高いからである。

プレイヤーは市場へのエージェント投入にあたり、自己のエージェントにいずれかの戦略を適用すると共に、その戦略に見合った資源採取タスクを教示する。資源採取タスクは、どのような資源をどのようなタイミングでどれだけ採取するかというような行動セットである。例えば、友愛戦略をとるエージェントはできるだけ多く交流を成立させるために、他のエージェントが目的としていない資源を選択することが有利となる。そこで、もし探索の過程で自己が目的とする資源が多数エージェントの目的資源であることが分かった場合は、例えばより遠隔地にある別の資源を改めて目的とするというような行動を教示しておくことが考えられる。逆に、独善戦略をとるエージェントにはそのような配慮は無用なため、知りうる限りの資源の中から最も省資源で到達できるものを目指すことを教示するべきであろう。ただし、本稿で以上にあげたようなタスクはあくまで例示であり、戦略とタスクは明確に関連づかない。これらはあくまでプレイヤーの選択に委ねられる。特に、水産業において提案機構を適用するためには、その特殊性に基づいてタスクを精査することが必要であると考えられる。

5. 水産資源におけるタスクセットの検討

上述のような各戦略と対応づけられるタスクを水産資源の特殊性に基づいて検討する。水産業における資源、すなわち魚介類は、既述の通り、どこでどのように漁獲できるのか必ずしも明確でない。加えて、魚介類は漸次回復する有限資源であるが、いかなる比率でどのようなタイミングで回復するのかを明確に把握することは難しい。さらに、今期の獲得成績（つまり漁獲高）が前期の成績と必ずしも連動しておらず、離散的である。例えば、前年は数十年ぶりの大豊漁であったのに、本年はまったく漁獲がないという事例もある。したがって、獲得し損ねた資源を次にいつ獲得できるかは一般に予測することが難しい。こうしたことから、提案する資源探索・獲得空間を水産資源に適用した場合、獲得できる資源はできるだけ獲得しておきたい、という誘因が強く働く空間となるであろうことが予想される。つまり、いま獲得しておかなければ次にいつ獲得できるか分からない、という観念がプレイヤーに生じる可能性が高い。そうすると、例えば石油等のエネルギー資源等と

異なり、いま目の前にある資源を諦めて、今後の探索を優位に進めようという選択を取りづらくなる。

以上を各戦略に当てはめて検討する。まず、独善戦略についてはそもそも非合理的な選択をする誘引が働かないから、水産資源においても原則がそのまま妥当する。すなわち、プレイヤーは、資源を発見次第獲得するというタスクをエージェントに教示することになる。一方、友愛戦略ではタスクの設定が非常に困難である。原則通り、他のエージェントが目的としているような資源へ到達した場合に常に獲得を回避していたのでは、いつまでも資源獲得ができなくなる恐れがある。そこで、何らかの基準にしたがってあらかじめ、あるいは状況に応じて、獲得回避の判断を行う必要が生じる。

本稿では、水産資源における友愛戦略エージェントは、資源獲得について学習を行うことがひとつの方法と言える。あらかじめ資源状態が把握できない以上、獲得回避を行うためのパラメータを事前に設定することは難しいからである。学習がQ値を用いて行われる場合、状態集合 s は自己が到達もしくは交流したエージェントの属性の組であり、行動集合 a は{獲得する, しない}をとり、その後の交流が成立した場合に正の報酬が与えられる。すなわち、これまでに接触したエージェントと獲得した資源との関係で獲得を判断する。ただし、行動政策が集約するまでに相当の時間が必要であり、適用できる場面が限られることになる点に難がある。学習速度の向上が今後の課題となろう。

日和見戦略では、友愛戦略と異なり、交流するか否かをその都度判断することになる。そして交流を試みるかを相手の既知のエージェント数により決している。そこで、交流を試みる閾値と獲得判断とを連動させることが考えられる。例えば、閾値として厳しい値をとる場合、すなわちわずかでも他エージェントと接触しているエージェントとの交流を避けるような教示をした時には、資源を発見次第獲得してもその後の行動に及ぼす影響は小さいことが想像される。

6. まとめ

資源依存型産業であるという特徴を有する水産業について、環境調和的に振舞うことにより他エージェントとの交流を通じてより有利に資源獲得ができるような枠組みを提案した。また、水産業の特殊性に基づいて各戦略群ごとのタスクについて検討した。

7. 参考文献

[Mikami 94] Mikami, S. and Kakazu, Y.: Co-operation of Multiple Agents Through Filtering Payoff, in Proc. 1st European Workshop on Reinforcement Learning, EWRL-1, pp. 97-107 (1994)

[森山 02] 森山甲一, 沼尾正行: 環境状況に応じて自己の報酬を操作する学習エージェントの構築, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 6, pp. 676-683 (2002)

[Akiyama 02] Akiyama, E., Kaneko, K.: Dynamical systems game theory II A new approach to the problem of the social dilemma, Physics D 167, pp. 36-71 (2002)

[谷本 06] 谷本潤, 脇山宗也, 相良博喜: 外生的資源制約を課した環境ジレンマゲームの普遍モデルに関する研究,

日本建築学会環境系論文集, No. 610, pp. 107-112 (2006)

[佐藤 07] 佐藤勇氣, 西野成昭, 上田完次: 不完備情報ゲームを用いた資源消費の意思決定に関する研究, 第21回人工知能学会全国大会論稿集,

<http://www.aigakkai.or.jp/jsai/conf/2007/data/paper-225.html> (2007)