

戦艦ゲームにおいて相手モデルを立てない場合の攻撃及び配置戦略の評価

作田 誠¹ 飯田 弘之^{2,3}

¹ 静岡大学理工学研究科

² 静岡大学情報学部 ³ 科学技術振興事業団さきがけ研究 21

概 要

ポピュラーな不完全情報ボードゲームの代表として、サイズ 2~5 の船 5 隻と 10×10 ボードを使う戦艦ゲームを選び、相手モデルを考慮しない場合の有効な攻撃戦略及び配置戦略について調べた。攻撃戦略においては、市松模様攻撃を基本として攻撃がハズレになった場合の可能配置数を最小にする枡を攻撃する、すなわち、当たる確率が最大の枡を攻撃する戦略が優秀であった。その際、早く可能配置数上げを行うほど攻撃精度が上がるのがわかったが、時間の制約を考慮して、残り船数が 4 隻以下でかつ未確定枡数が 70 以下のとき可能配置数上げを行うものを良い攻撃戦略として選んだ。攻撃戦略を上記に固定し数種の配置戦略の評価を行ったところ、船を辺に沿って配置する戦略が優秀で、それに加え船の接続配置を禁止したものが最も優秀な成績を収めた。

Evaluation of Attacking and Placing Strategies in a Classic Battleship Game without Considering Opponent Models

Makoto Sakuta⁴ and Hiroyuki Iida^{5,6}

⁴ Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

⁵ Faculty of Information, Shizuoka University ⁶ Information and Systems, PRESTO, JST

Abstract

A battleship game that uses 10x10 boards and five ships of the sizes from 2 to 5 has been chosen as a target domain for a representative testbed of the popular board games with incomplete information. The effective strategies for the attack or the placement of ships have been investigated without considering opponent models. As to the attacking strategies, a strategy, which is based on the checkerboard strategy and selects a square such that the number of possible placements is minimized when the attack is assumed to be missed, that is, selects a square such that the hit probability is maximized, has shown the most excellent results. The accuracy of the attacking strategy has turned out to get better as the enumeration of possible placements is performed earlier. Considering the time constraint of experiments, we have selected the attacking strategy that starts the enumeration when the number of remaining ships is fewer than or equal to 4 and the number of unidentified squares is fewer than or equal to 70. The examinations of some placing strategies, with the above attacking strategy fixed, have shown a placing strategy that places ships along the edges is superior. In addition, the above placing strategy with prohibiting the connected placements of ships has shown the most excellent results.

1 はじめに

完全情報零和二人ゲームはミニマックス方式の探索により性能があがることが知られ、現在では探索の効率化・高精度化についての研究が中心となっている。一方、多くの不完全情報ゲームには性能を上げる確固とした指針はなく、今後の大きな課題となっている。カードゲームであるブリッジ [5] やポーカー [3] の研究は進んでおり、また最も素朴で単純なじゃんけんを対象として世界じゃんけんプログラミング選手権 [2] が行なわれている。しかし不完全情報ボードゲームに関する研究は数少ない。筆者らはプレーヤーからある種の情報を見えなくすることにより成立している不完全情報のボードゲームに興味を抱いてきた。本研究では、不完全情報ボードゲームの中で最も素朴かつ有名で多くプレイされたと思われるクラシックな戦艦ゲームを題材とする。今回は相手モデルを立てず、効率的攻撃戦略及びそれに対する良い配置戦略について調べる。

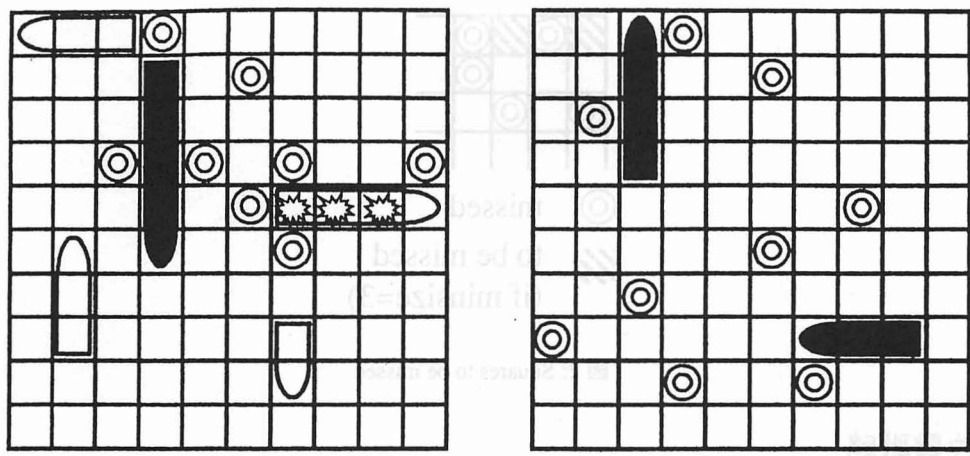


図 1: A position in a battleship game

2 戦艦ゲームとは

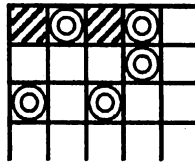
戦艦ゲームは潜水艦ゲームとも言われる二人不完全情報ゲームで、矩形ボード2枚2組とそれに挿す数種の船ピース及び攻撃用に挿すマークを使ってプレイする。船ピースは細長い形で、通常、種類別に2桁から5桁までのサイズがある。ボードは同じサイズの自分用ボードと相手用ボードがセットになっている。各プレイヤーは攻撃に先立って自分の全船ピースを自分用ボード内に自由に挿す。その後は交代で攻撃する。手番プレイヤーは相手用ボードの空いている桁目のどれか一つを選んで攻撃マークを挿し、その桁目の座標を相手に伝える。攻撃を受けたプレイヤーは攻撃された自分用ボードの桁目に船がなければ「ハズレ」、あれば「命中」を伝える。ただし、一つの船の全桁目が命中になったら、その船は沈没となる。最初に相手船を全滅させた方の勝ちとなる。

今回採用したルールでは、Web サイト [1] または [6] のものに従い、ボードサイズが 10×10 で、各軍はサイズ5の航空母艦1、サイズ4の戦艦1、サイズ3の輸送船1、サイズ3の潜水艦1、サイズ2の駆逐艦1、全5隻で構成される。なお、他には 16×16 ボードを使っているサイト [4] もあった。ユーザーインターフェイスに凝った面白いページ [7] もある。以下は本研究で採用した細かいルールである。

1. 船の配置は自由に行なってよい。
(変種では、船の接続配置を禁じているものもある。)
2. 船に命中したときも相手側の攻撃に替わる。
(変種では、命中すると続けて攻撃できるものもある。)
3. 一つの船の全桁目が命中になったら、「戦艦沈没」のように、ある船の種類が沈没したことだけが相手に情報として与えられる。
(変種では、船の種類を教えずただ沈没したとだけ伝えるもの、あるいは、沈没した船の種類だけでなくその配置も伝えるものもある。)

採用したルールは我々が過去の記憶を基に最も一般的であると判断したものである。なお船の沈没時に相手に与えられる情報は船の種類だけなので、その時点では沈没船の配置が確定しない場合もあることに注意してほしい。

図1にゲームの一局面を示す。左側が自軍側のボードで、右側が相手軍側である。自軍側の船の配置はすべて分っているが、相手軍側の配置は攻撃をした箇所しか分らない。◎は攻撃してハズレだった桁を、爆発印は当たりだった桁を表す。また、全桁が当たりになって沈没し配置が確定した船を黒く塗りつぶして表示している。



- ◎ missed
- /// to be missed
(if minsize=3)

図 2: Squares to be missed

3 攻撃戦略

今回は相手モデルを推論せず、純粋に効率的に攻撃をすることを考える。攻撃モデルとして、以下のレベルを考える。なお、未確定枡とは当りになるかハズレになるかわからない枡で、攻撃をしていなくても船がないことが自明な枡は未確定枡には含まない。図 2 に船がないことが自明な枡の例を示す。図中、斜線の枡は残り船の最小サイズが 3 のとき船がないことが自明な枡となる。

1. ランダム (R)

未確定枡をランダムに狙う。

2. ランダム+近傍攻撃 (RNB)

当りがあったとき沈没させるまでその近傍を攻撃する。図 3 で命中した枡の上下左右の枡が近傍攻撃の対象となる。

戦艦ゲームでは近傍攻撃は確実かつ絶対的に効率を上げる戦略であり、以下の戦略はすべて近傍攻撃を備えている。

3. 市松模様攻撃 (CB)

最初、大きい市松模様を打ち、次にその間を埋めて小さい市松模様になるように打っていく。図 4 に 8×4 サイズで示したが、まず A の枡を攻撃し、続いて B, C, D の枡を攻撃する。ただし毎回同じ順序にならない様、縦横方向に 0 から 3 のランダムのオフセット値を加えている。

4. 市松模様攻撃+可能配置数最小化 (MP)

残り船が 4 隻以下で、かつ、未確定枡数がある値以下になったら、可能な配置をすべて数え上げ、ハズレのときの可能配置数が最小になるような枡を攻撃する。数え上げを始める未確定枡数が x のとき、 MPx と表す。

残り船が 5 隻だと可能配置数が未確定枡数の 5 乗で利いてくるが 4 隻だと 4 乗で利いてくるだけなので、計算時間を抑えるため「残り船が 4 隻以下」という条件を入れている。4 節参照。

5. 市松模様攻撃+数手先の可能配置数最小化 (LA)

残り船が 4 隻以下で、かつ、未確定枡数がある値以下になったら、決まった回数の攻撃がハズレになるとして、その回数先まで先読みして可能配置数が最小になるような枡を攻撃する。すなわち、指定回数先までの攻撃のうち少なくとも一回が命中する確率を最大とする戦略である。先読み手数が x 、枝刈り数が y 、数え上げを始める未確定枡数が z のとき、 $LA_{x,y,z}$ と表す。

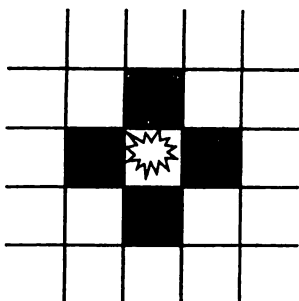


図 3: Attack of neighboring squares

	A		C		A		C
D		B		D		B	
	C		A		C		A
B		D		B		D	

図 4: Attack strategy CB (checkerboard)

	a	b	c	d	e
1	O	N	L	K	I
2		M	J	H	F
3			G	E	D
4				C	B
5					A

Total number of possible placements: 15046987768 $\approx 1.50 \times 10^{10}$

Number on each square from A (center) to O (corner): $\times 10^9$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
3.21	3.14	3.06	3.00	2.92	2.77	2.77	2.67	2.51	2.49	2.39	2.16	2.15	1.73	1.20

図 5: Results of enumerating possible placements

4 可能配置に関する知見

10×10のボード上の x 個の未確定枞に対して、サイズ 5,4,3,2 の各船を配置する場合の可能配置数の粗い上界は以下で与えられる。

$$(x - 40) \cdot 2 \times (x - 30) \cdot 2 \times (x - 20) \cdot 2 \times (x - 20) \cdot 2 \times (x - 5 - 4 - 3 - 3) \cdot 2 < 2^5 x^5$$

初期状態では $x = 100$ なので上界は 7.3×10^{10} となる。また、残り船が 4 隻の時は粗い上界は $2^4 x^4$ となる。

初期状態での可能配置の数え上げを行なった結果得られた各枞における可能配置数を図 5 に示す。結果は上下左右対称及び点対称となるので、10×10 ボードの内左上の 5×5 の上三角部分を示している。全可能配置数は 1.5×10^{10} で、予想通り真中 (A) が最も可能配置数が多く外側に行くに従い少なくなり角 (O) が最も少ない。ただし真中と角で 2.7 倍の開きしか見られない。

5 攻撃戦略の性能評価

まず、配置をランダムに位置及び方向を決めるものに固定して各攻撃戦略の評価を行なった。各攻撃戦略について、同じ戦略同士は 10 万回、違う戦略同士は先後を交代させそれぞれ 10 万回対戦させた結果を表 1 に示す。firstp 及び secondp は先手・後手プレイヤーの攻撃戦略を表す。R, RNB, CB はそれぞれランダム攻撃、ランダム攻撃+近傍攻撃、市松攻撃を表す。MP70 は「市松攻撃+可能配置数最小化」において未確定枞数 70 以下で可能配置数え上げを行なうことを意味する。LA2.8.70 は「市松攻撃+数手先の可能配置数最

表 1: Roundrobin results of every 100000 games with changing attacking strategies

firstp	secondp	wimrf	wimrs	hitrf	hitrs	seconds
R	R	52.31(31)	47.69(31)	20.814(29)	20.641(29)	56
RNB	RNB	51.12(31)	48.88(31)	31.407(41)	31.452(42)	22
RNB	R	94.61(14)	5.39(14)	30.918(39)	18.138(33)	32
R	RNB	6.26(15)	93.74(15)	18.227(32)	30.953(39)	31
CB	CB	51.54(31)	48.47(31)	36.683(46)	36.766(46)	21
CB	RNB	70.62(28)	29.38(28)	36.430(45)	32.001(44)	21
RNB	CB	31.54(29)	68.46(29)	31.863(43)	36.466(45)	22
MP70	MP70	51.67(31)	48.33(31)	38.171(47)	38.250(48)	1253
MP70	CB	56.46(31)	43.54(31)	37.971(47)	36.897(47)	661
MP70	RNB	74.44(27)	25.56(27)	37.662(46)	32.089(44)	679
CB	MP70	46.38(31)	53.62(31)	36.835(47)	38.123(47)	639
RNB	MP70	27.49(28)	72.51(28)	31.999(44)	37.723(46)	671
LA2.8.70	LA2.8.70	51.67(31)	48.33(31)	38.178(47)	38.257(48)	9054
LA2.8.70	MP70	51.71(31)	48.29(31)	38.177(47)	38.250(48)	5239
LA2.8.70	CB	56.47(31)	43.53(31)	37.980(47)	36.910(47)	4687
LA2.8.70	RNB	74.56(27)	25.44(27)	37.710(46)	32.091(44)	4773
MP70	LA2.8.70	51.63(31)	48.37(31)	38.172(47)	38.257(48)	5068
CB	LA2.8.70	46.39(31)	53.61(31)	36.843(47)	38.118(47)	4521
RNB	LA2.8.70	27.40(28)	72.61(28)	31.969(44)	37.764(46)	4737

小化]において未確定桁数 70 以下で 8 手枝刈りの 2 手先読みで可能配置数を最小化することを意味する。なお、R 戦略は他の戦略に比べ弱すぎるため RNB との対戦結果のみ示している。wimrf 及び wimrs は先手または後手のパーセントで表した勝率である。ランダム抽出による標本比率の正規分布を仮定して括弧内に 95%信頼区間の増減値を 2 桁で示している。例えば、52.31(31) は 52.00~52.62 が 95%信頼区間であることを表す。hitrf 及び hitrs は先手または後手のパーセントで表した命中率であり、同様に 95%信頼区間を示している。seconds は秒単位の全実行時間である。

R 攻撃戦略の命中率は R 対 R において先手 20.8%、後手 20.6%で、全くランダムな場合の理論値 $100/100 * (5+4+3+3+2) = 17%$ に比べ少し大きい。これは R 戦略においても船がないことが自明な桁への攻撃をしないためと考えられる。R, RNB, CB の順に強さが増している。MP70 は CB よりさらに強いが、LA2.8.70 は計算量がかかなり増大するにもかかわらず MP70 と有意差が見られない。MP70 は LA1.x.70 に相当するが、さらに 1 手先読みを深くして LA2.8.70 にしてもあまり反駁が起こらず、その数少ない反駁の効果も勝敗に影響を与えるほどは大きくないことを意味する。実際、LA2.8.70 と MP70 との対戦において LA2.8.70 で着手選択において反駁の起こる比率はわずか 1.6%程度であった。

なお、MP や LA では数え上げを開始する未確定桁数が大きければ大きいほど攻撃精度が上がる。MP において数え上げ開始の未確定桁数を 10 から 80 まで 10 刻みで変化させたときの CB 戦略に対する勝率の変化を図 6 に示す。first は対 CB で MP を先手プレーヤーとした場合、second は後手プレーヤーとした場合である。ただ、10 万局対戦で MP70 では 650 秒程度で終わるのに対し、MP80 では 14 時間程度を要しており実験時間がかかりすぎている。

LA 戦略は MP 戦略と同程度の攻撃精度しか持たないにもかかわらず実験時間が数倍以上必要なことから不採用とし、また MP80 は実験時間がかかりすぎるため、今後良い攻撃戦略の基本として MP70 を選択する。

6 配置戦略との関連

前節での議論を基に、以下の配置戦略を考えてその下での攻撃戦略の評価を行なう。ただし相手モデルは立てないので、あくまでも上記の各攻撃戦略を変更せず評価する。

1. ランダム配置. (R)

ランダムに位置及び方向を決めて配置する。

2. 辺に沿って配置. (ED1)

ボードの辺に沿ってランダムに配置する。図 7 参照。

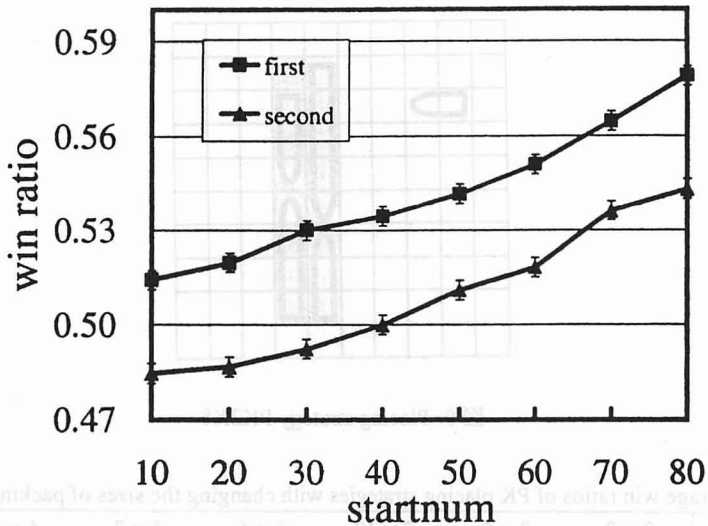


図 6: CB に対して MP で配置数え上げ開始桁数を変化させたときの勝率

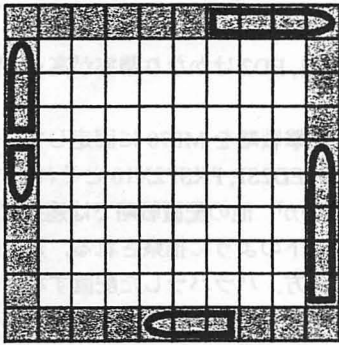


図 7: Placing strategy ED1

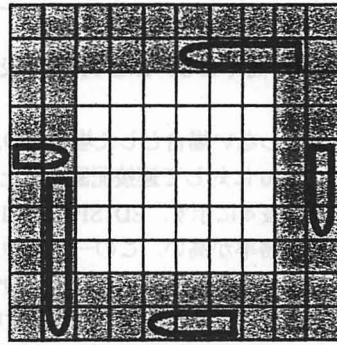


図 8: Placing strategy ED2

3. 辺とその内側に配置. (ED2)

ボードの辺とその一つ内側の範囲内にランダムに配置する. 図 8 参照.

4. 最小サイズ以外を固めて配置. (PK)

最小サイズの船だけを分離してどこかに配置して, 残りの船を矩形内に固める. 固める矩形のサイズが $x \times y$ ($x < y$) のとき, $PKxY$ と記す. なお, 矩形が縦長か横長かはランダムに決められる. $PK2X8$ の例を図 9 に示す.

船が接続していると近傍攻撃戦略によって隣の船の巻き添えとなる危険性が高いため, 船を接続配置しない戦略が考えられる. 上記の各配置戦略 R, ED1, ED2, PK について, 船の接続配置を禁止したものをそれぞれ RSP, ED1SP, ED2SP, PKSP とする. なお, PKSP は最小サイズの船と残りの固めた船とを接続配置しないことを意味する.

まず PK 配置戦略において, どのように固めて配置するのがよいか調べるため, 固める矩形のサイズを $2 \times 8, 2 \times 9, 2 \times 10, 3 \times 6, 3 \times 7, 4 \times 5, 4 \times 6$ と変化させて PK 戦略同士で総当たりで 10 万回ずつ対戦させて勝率を調べた. なお, 攻撃戦略は MP70 に固定した. 各矩形サイズごとの勝率を先手, 後手別々に集計したものを表 2 に示す. 先手後手とも 2×10 が最も勝率が良いので, 以降 PK 配置戦略の代表として $PK2X10$ を使うこととする.

次に攻撃戦略を MP70 に固定して, 配置戦略 R, ED1, ED2, $PK2X10$ それぞれを総当たりで 10 万回対戦させた. 各配置戦略ごとの勝率を先手, 後手別々に集計したものを表 3 に示す. 先手後手とも, R, $PK2X10$,

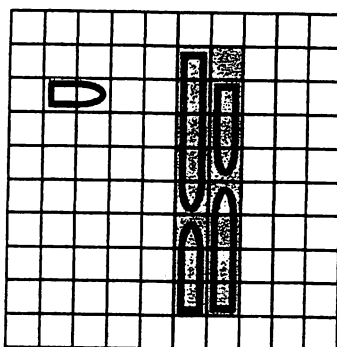


図 9: Placing strategy PK2X8

表 2: Average win ratios of PK placing strategies with changing the sizes of packing rectangles

rectangle size	2×8	2×9	2×10	3×6	3×7	4×5	4×6
winrf average	51.47(12)	52.08(12)	52.32(12)	50.58(12)	51.81(12)	51.69(12)	51.71(12)
winars average	47.98(12)	48.70(12)	48.89(12)	47.41(12)	48.47(12)	48.48(12)	48.42(12)

ED2, ED1 の順に勝率が高くなる。R と PK2X10 とは微差だが、ED1, ED2 はかなり勝率が高く、特に ED1 の優秀性が顕著である。

次に接続配置を禁止しない場合とした場合との比較を行った。攻撃戦略を MP70 に固定して、各配置戦略 R, ED1, ED2, PK2X10 に対して接続配置を禁止した RSP, ED1SP, ED2SP, PKSP2X10 とそれぞれ 10 万回ずつ対戦させた結果を表 4 に示す。ED1SP は ED1 に比べ勝率が高いが、他の配置戦略では接続配置を禁止していないものの方が勝率が高い。この一見奇妙な結果の原因は以下のように推察される。接続配置を禁止することにより、近傍攻撃に巻き込まれる危険性が少なくなる一方、パラパラした配置すなわちゲーム終盤で可能配置を絞られるような配置になりやすい傾向があると考えられる。ED1 では近傍攻撃の危険性を避ける効果が大いだが、他の配置戦略では可能配置を絞られる効果が勝ったのではないだろうか。なお、攻撃戦略を RNB に固定して同様の実験を行った結果を表 5 に示すが、いずれの配置戦略においても接続配置を禁止した方が高い勝率を上げている。RNB 攻撃戦略では近傍攻撃の危険性を避ける効果しか効いてこないためと考えられる。

今回の実験の範囲では、攻撃戦略 MP70 かつ配置戦略 ED1SP のものが最も優秀であった。

7 まとめと今後の展開

サイズ 2~5 の船 5 隻と 10×10 ボードを使う戦艦ゲームで、相手モデルを考慮せず効率的な攻撃戦略及び配置戦略について調べた。攻撃戦略においては、市松模様攻撃を基本として攻撃がハズレになった場合の可能配置数を最小にする枡を攻撃する、すなわち、当たる確率が最大の枡を攻撃する戦略が優秀であった。ただ、未確定枡数が多いときは計算に時間がかかりすぎるのが難点である。これは可能配置をインクリメンタルに計算することで飛躍的に速度が上げられるはずで、今後の課題である。

攻撃戦略を可能配置数を最小にする枡を攻撃するものに固定し数種の配置戦略の評価を行ったところ、船を辺に沿って配置する戦略が優秀で、それに加え船の接続配置を禁止したものが最も優秀な成績を収めた。

表 3: Average win ratios on placing strategies (attacking strategy: MP70)

	R	ED1	ED2	PK2X10
winrf average	46.21(15)	60.00(15)	53.43(15)	46.98(15)
winars average	42.79(15)	56.84(15)	50.07(15)	43.68(15)

表 4: Effects of separated placements (every 100000 games, attacking strategy:MP70)

firstp	secondp	winrf	winrs	hitrf	hitrs	seconds
RSP	RSP	52.01(31)	47.99(31)	38.725(48)	38.764(48)	1256
RSP	R	48.45(31)	51.55(31)	38.241(47)	38.708(48)	1264
R	RSP	55.34(31)	44.66(31)	38.675(48)	38.331(48)	1249
ED1SP	ED1SP	52.21(31)	47.79(31)	34.401(44)	34.465(44)	2612
ED1SP	ED1	52.80(31)	47.20(31)	34.950(44)	34.635(44)	2144
ED1	ED1SP	50.64(31)	49.36(31)	34.547(44)	35.071(44)	2173
ED2SP	ED2SP	51.67(31)	48.33(31)	37.116(46)	37.221(47)	1629
ED2SP	ED2	47.23(31)	52.77(31)	36.529(46)	37.202(46)	1671
ED2	ED2SP	56.18(31)	43.82(31)	37.103(46)	36.600(46)	1666
PKSP2X10	PKSP2X10	51.69(31)	48.31(31)	37.992(47)	38.067(47)	1933
PKSP2X10	PK2X10	49.57(31)	50.43(31)	37.766(47)	37.989(47)	1953
PK2X10	PKSP2X10	54.28(31)	45.72(31)	37.973(47)	37.786(47)	1964

表 5: Effects of separated placements (every 100000 games, attacking strategy:RNB)

firstp	secondp	winrf	winrs	hitrf	hitrs	seconds
RSP	RSP	51.16(31)	48.85(31)	30.465(40)	30.516(41)	22
RSP	R	54.28(31)	45.72(31)	31.342(41)	30.581(41)	23
R	RSP	47.83(31)	52.17(31)	30.530(41)	31.389(41)	23
ED1SP	ED1SP	50.92(31)	49.08(31)	30.267(40)	30.331(40)	23
ED1SP	ED1	54.98(31)	45.02(31)	31.271(41)	30.424(41)	22
ED1	ED1SP	47.64(31)	52.36(31)	30.396(41)	31.296(41)	23
ED2SP	ED2SP	51.04(31)	48.96(31)	30.364(40)	30.428(41)	23
ED2SP	ED2	54.60(31)	45.40(31)	31.267(41)	30.486(41)	22
ED2	ED2SP	48.05(31)	51.95(31)	30.527(41)	31.313(41)	23
PKSP2X10	PKSP2X10	50.91(31)	49.09(31)	33.145(43)	33.248(43)	22
PKSP2X10	PK2X10	52.26(31)	47.74(31)	33.542(43)	33.348(44)	22
PK2X10	PKSP2X10	49.29(31)	50.71(31)	33.167(43)	33.655(44)	22

今後、この配置戦略を中心に相手モデル化を組み込んだ攻撃戦略を用意し、総合的に優れる攻撃戦略及び配置戦略を探っていく。なお、今回テストしたランダム以外の配置戦略はランダム配置戦略よりも優秀であったので、相手モデル化にモデルとして組み込むのが妥当と考えられる。

参考文献

- [1] S. Belczyk. Web Battleship. <http://www.head-crash.com/battle/>, 2002.
- [2] D. Billings. The first international RoShamBo programming competition. *ICGA Journal*, 23(1):42–50, 2000.
- [3] D. Billings, A. Davidson, J. Schaeffer, and D. Szafron. The challenge of poker. *Artificial Intelligence*, 134(1-2):201–240, 2002.
- [4] BURST! Media, LLC. Battleship Game. <http://www.artistic-designers.com/bkgds/puzzles/battleship/index.html>, 1999.
- [5] I. Frank and D. Basin. Search in games with incomplete information: A case study using bridge card play. *Artificial Intelligence*, 100(1-2):87–123, 1998.
- [6] A. D. Fuegi. ARMADA. <http://scv.bu.edu/~aarondf/java/armada.html>, 1996.
- [7] F. Winters. Battleships – general quarters. <http://home.iae.nl/users/franklin/battleships/index.htm>, 1999–2002.