キンギョにおける放射状迷路課題の習得

金沢大学 鷲塚清貴・谷内 通

Acquisition of a radial maze task by goldfish

KIYOTAKA WASHIZUKA and TOHRU TANIUCHI
Graduate School of Letters, Kanazawa University

Abstract Four goldfish (*Carassius auratus*) were tested in an aquatic version of the eight-arm radial maze equipped with intra-maze cues. The fish received forty trials of free-choice task training followed by a test in which intra-maze cues were removed. As a result of training, the fish entered approximately 6.9 different arms in the first eight choices, and this score was significantly higher than the chance level. Any stereotypic response pattern, especially a tendency to enter adjacent arms in a rotate style, was not observed. In the test, choice accuracy deteriorated to the initial level by removal of intra-maze cues. These results suggest that goldfish can acquire a radial arm maze task by utilizing intra-maze cues.

Key words : goldfish, radial arm maze, intra-maze cues

放射状迷路 (Olton & Samuelson, 1976) は、中央プラットホームから複数の走路アームが放射状に伸びた迷路である。典型的な実験法では、全てのアームの先端に少量の餌が置かれ、動物は各アームに進入してこの餌を食べる。迷路の構造により、被験体はあるアームに進入した後で必ず中央プラットホームに戻ってから次のアームを選択することになるが、同一試行内で餌が再び配置されることはないので、最も効率の良い選択方略は、各アームを一度ずつ選択することである。このため、動物は、中央プラットホームにおいて、既進入アームを回避して未進入アームを選択するという弁別を求められることになる。

Olton & Samuelson (1976) は、ラット (*Rattus norvegicus*) に対して 8 方向の放射状迷路課題を訓練した結果、比較的少ない訓練によって、一度進入したアームにほとんど再進入せずに全ての餌を回収できるようになることを見出した。また、アームの進入順序には特定のパターンは確認されなかったことから、ラットの遂行はステレオタイプ化した反応パターンの学習によるものではないことが示された。また、後の研究において、ラットはマーキングなどの嗅覚手がかりを利用していないことが確認された (Olton &

Collison, 1979)。これらの結果から、ラットはアームの既進入または未進入に関する情報 (Cook, Brown, & Riley, 1985) をワーキングメモリに保持することによって、放射状迷路課題を遂行していると考えられた。

放射状迷路課題は、げっ歯類を被験体を用いた空間認知や記憶、あるいはそれらの生理的基盤 (e.g., 一谷・吉原・林, 2003; 岩崎, 1997; 岡市, 1993) に関する研究において数多く用いられてきた。これに対して、Roitblat, Tham, & Goulb (1982) は、トウギョ (*Betta splendens*) を被験体として、魚類における 8 方向放射状迷路を用いた唯一の研究を報告している。トウギョは、通称ではベタと呼ばれる体長 6 cm 程度の淡水性観賞魚である。この研究では、訓練による成績の向上は認められたが、アーム選択の約 80% において隣接するアームを次々に選択する周回型のステレオタイプ化した反応パターンが示された。この周回型の反応パターンは、各アームの詳細な空間定位 (Suzuki, Augerinos, & Black, 1980) または直前に進入したアーム以外の記憶保持 (Roberts & Dale, 1981) を必要とせずに、放射状迷路における効率の採餌を可能にする。従って、Roitblat, Tham, & Goulb (1982) の結果からは、アーム進入に関する記

憶保持に基づいた放射状迷路課題を魚類がどの程度遂行可能であるのかについては、必ずしも明らかではない。

放射状迷路課題において周回型の反応パタン等のステレオタイプ化したアーム選択が発達する現象は、ラットでも認められている。Suzuki, Augerinos, & Black (1980) の研究では、放射状迷路の周囲がカーテンで覆われ、迷路外の手がかりを利用できない状態で訓練されると、ラットのアーム選択の柔軟性が低下し、ステレオタイプ化した反応パタンを示すことが報告されている。この結果は、空間定位のために利用可能な手がかりが存在しないと、ステレオタイプ化した反応方略に依存した放射状迷路遂行が行われることを示すものである。Roitblat, Tham, & Goulb (1982) の研究では、迷路外の実験室風景等の手がかりは利用可能であったが、放射状水迷路内には特別な手がかりは配置されなかった。げっ歯類用の高架式の放射状迷路とは異なり、魚類用の放射状水迷路では、迷路外手がかりよりも迷路内手がかりの方が空間定位に重要である可能性が考えられる。このように考えると、Roitblat, Tham, & Goulb (1982) の研究において、トウギョが隣接アームを選択する反応パタンを示したのは、迷路内手がかりの欠如によって、空間定位が困難であったことが原因である可能性が考えられる。

そこで、本研究では、明瞭な迷路内手がかりを配置した8方向放射状迷路を用いて、キンギョ (*Carassius auratus*) における放射状迷路課題の習得可能性を検討した。キンギョを用いた学習研究は数多く行われているが、従来の研究では、報酬と無報酬の単一交替系列学習において報酬予期が認められないことや、連続逆転学習における誤反応の低減が認められないことが示されてきた (e.g., Mackintosh, Wilson, & Boakes, 1985)。このような現象は、キンギョにおける選択的注意の欠如、または直前の試行における結果事象を保持して後続試行において手がかりとして利用することの困難さを示すと考えられた (Pearce, 1997)。これに対し、固定間隔スケジュールにおけるスキラップパターン (藤, 1995; Talton, Higa, & Staddon, 1999) や見本合わせ課題の習得 (Goldman & Shapiro, 1979) を示した研究が報告されてきており、キンギョにおける情報の短期保持とこれに基づく課題遂行が可能であることが示唆されている。

本研究では、これまでに蓄積されてきた豊富な知見と比較検討が可能であるという利点からキンギョを被験体として、魚類における放射状迷路課題の習得可能性を検討した。

方 法

被験体 手取フィッシュランド (金沢) から購入した4匹のキンギョ (ワキン) を被験体として用いた。体長は5–6 cmであった。キンギョは1匹ずつ個別飼育を行った。個別飼育水槽は内寸で幅17 cm, 奥行き17 cm, 高さ17 cmであった。各個別飼育水槽には、ポンプ式外掛フィルターが取り付けられ、水の循環を行った。水温は20–22°C, 水質はPH 7–8に調節した。個別飼育水槽と実験装置の水質を一定にするため、別の水槽で水質を調整した水を用意し、そこから飼育水槽と実験装置に水を供給した。天井の白色蛍光灯によって明暗周期を調節した (明期9:00–21:00)。飼育期間を通じて、飼育水槽において十分な量の7 mgの浮上性餌ペレット (キョーリン製ミニペレット #06220, 直径約3 mm) を与え、5分後に食べ残しを除去するという方法によって1日に1回の給餌を行った。動物の飼育および実験は金沢大学動物実験委員会の承認を受けた施設と管理マニュアルの下で金沢大学動物実験指針に準拠して行われた。

実験装置 装置の素材およびサイズの概要において Roitblat, Tham, & Goulb (1982) に準じて作成した8方向放射状水迷路を使用した。迷路は白色塩化ビニール製であった。迷路中央のプラットホームは直径13.5 cmであり、各アームは幅5 cm, 奥行き25 cm, 高さ20 cmであった。幅80 cm, 奥行き110 cm, 高さ20 cmの青色のポリエチレン製の水槽の中央に放射状水迷路を沈め、迷路内の水深が15 cmとなるように水位を調節した。各アームの進入口には白色塩化ビニール製のギロチンドアがあり、個別に開閉可能であった。実験時を除いて、エアーポンプと循環装置を作動させて水質管理を行った。放射状水迷路の設置の様子を Figure 1 の上に示した。迷路上部から60 cmの高さにデジタルビデオカメラと100 Wの白熱電球を取り付けた。デジタルビデオカメラは中央プラットホームの真上、白熱電球は迷路中央から30 cm離れた位置に設置した。実験者は、装置から離れた位置のモニターを通じて、迷路内のキンギョの行動を観察した。迷路の周囲四方は、ベニヤ板、銀色のラック、冷蔵庫、および白色の壁・乾燥機に囲まれていた (迷路の端からの距離はそれぞれ、約15 cm, 45 cm, 100 cm, および120 cm)。迷路内手がかりの様子を例示するために架台から降ろして水を抜いた状態で撮影した写真を Figure 1 の下に示した。迷路内手がかりとして、赤色の人工水草、大きな黒色の石、葉が大きい緑色の人工水草、流木、茶色のガラスビン (直径4 cm, 高さ12 cm)、葉が小さい緑色の人工水草、大きな白色の石、複数の水色のビー玉を立体的に接着した物体を各アームに配置した。迷路内手がかりのアームへの

割付は実験を通して固定していた。実験餌としては、飼育飼料と同じ浮上性の7 mgの餌ペレットを使用した。

Figure 1. An aquatic version of the eight-arm radial maze. Each arm was equipped with one of the intra-maze cues (plastic plants with red leaves, two black rocks, plastic plants with large green leaves, a driftwood, a brown bottle, plastic plants with small green leaves, two white rocks, or two objects made of blue marbles).

手続き 装置への馴致を7日間行なった。この馴致段階から迷路内手がかりを配置した。アームのドアを全て開けた状態で、キンギョを中央プラットフォームに入れた。被験体を透明なガラスビン（直径8 cm、高さ8 cm）に入れて飼育水槽から中央プラットフォームへ移動した。キンギョが全てのアームに進入したところで迷路から取り出した。この段階では、迷路内で餌は与えなかった。この手続きを1日に1回行なった。

次いで、予備訓練を行なった。ドアが全て閉まっている状態で、キンギョを中央プラットフォームに入れた。30秒経過後、ドアを一つだけ開けた。アームの先端に1粒ずつ浮かべられた餌を食べ、中央プラットフォームに戻るとドアを閉めた。ドアが全て閉まった状態で30秒経過した後に、次のアームのドアを開けた。この手続きを全てのアームに対して行なった。アームを開く順番はランダムに決定した。ドアが開いてから60秒以内にアームに進入して餌を食べるようになるまで訓練を行なった。予備訓練は4～6日間行なった。

予備訓練に次いで、習得訓練を40日間行なった。あらかじめアームの先端に餌を1粒ずつ浮かべ、ドアが全て開いた状態で被験体を中央プラットフォームに入れた。被験体の尾がアームの入り口を通過することを選択の基準とした。全てのアームに進入してプラットフォームに戻ると試行を終了し、迷路から被験体を取り出して飼育水槽に戻した。1日に1試行を行なった。

習得訓練に続いて、迷路内手がかりの除去テストを4日間行なった。迷路内手がかりである各種物体を除去した以外の手続きは、習得訓練と同じであった。

馴致段階からテスト段階までの実験期間を通じて、毎日の実験が終了してから15分以上経過した後に、飼育水槽において飼育用飼料の給餌を行なった。

結 果

Figure 2の(a)は、全ての報酬を獲得するまでの平均エラー数を4試行ブロックで示している。訓練に伴うエラー数の減少が確認され、習得訓練の最終の第10ブロックでは、平均4回のエラーで全ての報酬を獲得するようになった。また Figure 2の(b)は、最初の8選択での平均正選択数を示している。図中の点線は、既進入アームへの再進入が生じうる場合に8回のランダム選択で獲得される報酬数の期待値(5.30)を示している (Olton, 1978)。訓練に伴う成績の向上が認められ、習得訓練の最終の第10ブロックでは、最初の8選択において6.90の正選択を示した。エラー数、最初の8選択での正選択数についてそれぞれ、

Figure 2. Performance of four goldfish in an eight-arm radial maze. (a) Mean number of errors ($\pm SE$) in block of four trials. Errors refer to the number of reentering to unbaited arms. (b) The number of different arms ($\pm SE$) entered in the first eight choices. A dotted line represents the chance level that would be expected if the fish were sampling randomly with replacement (5.30).

ブロック(10)×被験体の繰り返し測定計画の分散分析を行った。その結果、エラー数 ($F(9, 27) = 6.51$, $p < .001$), 最初の8選択での正選択数 ($F(9, 27) = 7.79$, $p < .001$) とともに、ブロックの主効果が有意であった。有意であったブロックの主効果について、ライオン法によって有意水準を調節した t 検定を用いて対比較を行ったところ、第10ブロックは第1, 2,

6ブロックよりも有意にエラー数が少なく、第1–8ブロックよりも有意に正選択数が多いことが示され、訓練の効果が認められた ($p < .05$)。また、第10ブロックにおける最初の8選択での平均正選択数の95%の信頼区間を算出したところ、 $6.04 \leq u \leq 7.76$ となり、チャンスレベルである5.30よりも有意に多いことが示された。

テストにおいて迷路内手がかりを除去すると、エラー数が習得訓練の開始時の水準に戻るとともに、最初の8選択での正選択数は5.60まで低下した。テストブロックにおける最初の8選択での平均正選択数の95%の信頼区間を算出したところ、 $4.74 \leq u \leq 6.46$ となり、チャンスレベルである5.30を含むことが示された。また、習得訓練の最終の第10ブロックと迷路内手がかりを除去したテストブロックについて、ブロック(2)×被験体の繰り返し測定計画の分散分析を行った。その結果、エラー数 ($F(1, 3) = 20.21$, $p < .05$), 最初の8選択での正選択数 ($F(1, 3) = 20.69$, $p < .05$) とともにブロックの主効果が有意となり、迷路内手がかりの除去に伴って遂行成績が有意に低下したことが確認された。

Figure 3は、習得訓練の最終の第10ブロックにおける、最初の8選択でのアーム間の移動パターンを示している。アーム間の移動の表示について、直前に進入したアームに連続して進入した場合には0、直

Figure 3. Mean percentage of choice at each relative position from current arm in the first eight choices of the last four trials of acquisition. Bars on the data denote 95% confidence intervals. The dotted line represents the chance level that is expected by random sampling among arms with replacement (12.5%).

前に進入したアームから隣接するアームへの移動には1, 2つ離れたアームへの移動には2, 3つ離れたアームへの移動には3, 4つ離れたアームへの移動には4を割り当てた。また, 時計回り方向への移動にはプラスを。反時計回り方向への移動にはマイナスを割り当てた。4と-4は同一のアームを示すことになるので, 4で示した。その結果, 1と-1で示される隣接アームへの移動の割合は, その他のアームへの移動の確率と大きくは異なることが示された。Figure 3に示した誤差線は, 各位置への平均移動確率の95%の信頼区間を表している。信頼区間の計算においては, 位置条件間でプールした標準誤差を使用し, 8回の検定全体で第1種の過誤の危険率が5%となるように有意水準を調整した($\alpha = .0064$)。その結果, アーム移動に偏りが無い場合の期待値である12.5%と比較すると, 0で示される同アームへの反復進入の確率が有意に低い($-2.09 \leq u \leq 9.09$) 以外は, 移動確率の有意な偏りは認められなかった。

考 察

迷路内手がかりを配置した放射状迷路でキンギョを訓練すると, エラー数が有意に低下するとともに, 最初の8選択での正選択数が有意にチャンスレベルを上回るようになることが示された。また, 迷路内手がかりを除去したところ, エラー数は習得訓練開始時の水準に戻るとともに, 最初の8選択での正選択数はチャンスレベルまで低下した。このことから, キンギョは, 主に迷路内手がかりを利用することにより, 放射状迷路課題を習得したことが示唆される。

各試行はアームの先端に餌を浮かべた状態で開始しているので, キンギョが餌の視覚もしくは嗅覚情報を利用して可能性も考えられる。しかしながら, これらの手がかりは, 迷路内手がかりが除去されたテストにおいても有効であったはずである。従って, 迷路内手がかりの除去に伴って最初の8選択の正選択数がチャンスレベルまで低下したという結果は, 本研究におけるキンギョの課題遂行が餌の視覚もしくは嗅覚手がかりに依存しなかったことを強く示唆するものであると考えられる。

また, 本研究では, Roitblat, Tham, & Goulb (1982)の研究で確認されたような隣接アームを選択する強い傾向はみられなかった。すなわち, Roitblat, Tham, & Goulb (1982)の研究において, トウギョは約80%の確率で隣接するアームを選択し, ステレオタイプ化した周回型の反応パターンを示した。これに対し, 本研究の習得訓練最終ブロックにおける隣接アームの選択率は, アーム選択に偏りが無い場合の期待値と

同じ25%であった。ラットでは, 迷路外手がかりが利用できない事態では, ステレオタイプ化した反応パターンが生じることが報告されている (Suzuki, Augerinos, & Black, 1980)。Roitblat, Tham, & Goulb (1982)の研究では, 迷路を取り囲む実験室の風景が迷路外手がかりとして利用可能であったが, 迷路内には特別な手がかりは配置されていなかった。アームの長さが80cmという大きな4方向十字迷路では, キンギョは特定のアームへ進入する場所課題を迷路外手がかりに基づいて学習可能であることが示されている (Salas, Rodriguez, Vargas, Duran, & Torres, 1996)。しかし, Roitblat, Tham, & Goulb (1982)や本研究が用いたような比較的小さな迷路においては, 迷路外手がかりの明瞭性が十分に高くないために, 隣接アームを選択する反応パターンの発達に関して, 迷路内手がかりの有無が重要な役割を果たした可能性が考えられる。

一方で, 隣接アームを選択する反応パターンが現れる要因として, 記憶の順向性干渉に関する問題も考えられる。本研究では1日に1試行を行ったが, Roitblat, Tham, & Goulb (1982)では, 15分以上の試行間間隔を空けて1日に2試行を行っていた。このような事態では, 第2試行を遂行する際に, 第1試行における記憶が干渉する可能性が考えられる。実際にラットでは, 放射状迷路課題を短い試行間間隔の下で1日に複数試行を行った場合には, 試行間の記憶の干渉に対する適応行動として, 隣接アームを選択する反応パターンが生じることが報告されている (Roberts & Dale, 1981)。今後, 魚類の放射状迷路課題における順向性干渉とその規定因についても検討が必要であると考えられる。

また, 隣接アームの選択傾向に関する Roitblat, Tham, & Goulb (1982)と本研究の結果の相違は, 迷路内手がかりの利用可能性や記憶の順向性干渉以外に, トウギョとキンギョという種差が原因である可能性も残されている。従って, 魚類の放射状迷路課題については, 習得可能性や遂行パターン, または関連する要因の効果について基礎的知見を集積するとともに, 種間一般性についても確認していくことが必要である。

本研究では, 迷路内手がかりと迷路外手がかりの両方が空間定位に利用可能であったが, 迷路内手がかりの除去による課題遂行の劣化は, キンギョが放射状迷路課題を遂行する際に, 迷路内手がかりがより重要である可能性を示唆するものである。ラットの放射状迷路課題では, これとは逆に, 迷路内手がかりよりも迷路外手がかりが優勢であることが知られている (Chamizo, Sterio, & Mackintosh, 1985)。従って, げっ歯類の高架式の放射状迷路課題と魚類

の放射状迷路課題では、迷路内手がかりと迷路外手がかりの機能が異なる可能性が考えられる。しかし、March, Chamizo, & Mackintosh (1992) は、手がかりの明瞭性や訓練手続きによっては、ラットにおいても迷路内手がかりが迷路外手がかりを隠蔽する場合があることを見出している。魚類における迷路内手がかりと迷路外手がかりの利用についても、各手がかりの相対的な豊富さや明瞭性、あるいは迷路の構造による視野の広さ等の要因の影響を受けると考えられる。従って、キンギョにおいても、迷路内手がかりと迷路外手がかりの有効性の規定因に関しては、さらなる検討が必要であると考えられる。

また、本研究では、キンギョが迷路内手がかりをどのような様式で利用したのかは必ずしも明らかではない。Suzuki, Augerinos, & Black (1980) は、迷路外手がかりを配置した放射状迷路でラットを訓練した後、手がかり間の位置関係を変えずに手がかり全体を回転させた条件と、手がかりとアームの対応関係を保ったまま手がかり間の位置関係を変化させた条件の比較を行った。その結果、迷路外手がかりとアームの対応関係が維持されていても、迷路外手がかり間の位置関係が変更されると遂行が劣化することが示された。この知見は、ラットは手がかりとアームの一対一の対応関係を学習しているのではなく、刺激の全体的な配置関係 (configuration) に基づいて空間定位を行うことを示すものである。迷路内手がかりを配置した放射状迷路におけるキンギョの課題遂行についても、手がかりとアームの対応関係を学習しているのか、手がかりの全体的な配置関係に基づいて空間定位を行っているのかについて検討する必要がある。

本研究では、キンギョの放射状迷路課題において、隣接アームを選択する反応方略に拠らない遂行成績の向上を確認した。このことから、キンギョはアームの既進入・未進入に関する情報を、短期的な記憶過程に保持することによって、課題遂行を行うことができることが示唆される。この結果は、固定間隔スケジュールにおけるスキラップパターン (藤, 1995; Talton, Higa, & Staddon, 1999) や見本合わせ課題の習得 (Goldman & Shapiro, 1979) によって示された時間経過や見本刺激に関する情報の短期保持能力を放射状迷路課題において確認するものであると考えられる。さらに、最近、キンギョと同じコイ科の淡水魚であるゼブラフィッシュ (*Danio rerio*) においても、同様の記憶過程を要すると考えられる空間課題における単一交替反応の学習が可能であることも報告されている (Williams, White, & Messer, 2002)。

放射状迷路課題では、試行ごとに保持すべきア

ームのパターンは異なり、そのパターンも試行内の選択ごとに变化するにもかかわらず、キンギョは記憶保持に基づく柔軟なアーム選択が可能であった。これらの選択行動を媒介する短期的保持過程は、ラット等において仮定されてきたように、ワーキングメモリに相当する過程である可能性が考えられる。しかしながら、放射状迷路課題におけるアーム選択や見本合わせ課題における比較刺激の選択は、既知感の水準で可能であるという指摘もある (Griffiths, Dickinson, & Clayton, 1999; 岩崎, 1997)。これらの様々な水準の可能性を魚類の記憶過程に関して検討するためにも、放射状迷路課題における手がかり利用の規定因や符号化様式について明らかにすることは、有効なアプローチの1つであると考えられる。

引用文献

- Chamizo, V. D., Sterio, V., & Mackintosh, N. J. 1985 Blocking and overshadowing between intra-maze and extra-maze cues: A test of the independence of locale and guidance learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **37B**, 235-253.
- Cook, R. G., Brown, M. F., & Riley, D. A. 1985 Flexible memory processing by rats: Use of prospective and retrospective information in the radial maze. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **11**, 453-469.
- 藤健一 1995 キンギョのオペラント条件づけ 動物心理学研究, **45**, 51-65.
- Goldman, M., & Shapiro, S. 1979 Matching-to-sample and oddity-from-sample in goldfish. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **31**, 259-266.
- Griffiths, D., Dickinson, A., & Clayton, N. 1999 Episodic memory: What can animals remember about their past? *Trends in Cognitive Sciences*, **3**, 74-80.
- 一谷幸男・吉原亨・林和子 2003 ラット・マウスの空間認知・空間記憶における脳内グルタミン酸受容体の役割 生理心理学と精神生理学, **21**, 5-17.
- 岩崎庸男 1997 放射状迷路行動の特徴 動物心理学研究, **47**, 139-144.
- Mackintosh, D. S., Wilson, B., & Boakes, R. A. 1985 Differences in mechanisms of intelligence among vertebrates. In Weiskrantz, L. (Ed.), *Animal intelligence*. Oxford: Clarendon.

- don Press. Pp. 53-65.
- March, J., Chamizo, V. D., & Mackintosh, N. J. 1992 Reciprocal overshadowing between intra-maze and extra-maze cues. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **45B**, 49-63.
- 岡市広成 1993 認知地図と海馬 心理学評論, **36**, 64-79.
- Olton, D. S. 1978 Characteristics of spatial memory. In Hulse, S. H., Fowler, H., & Honig, W. K. (Eds.), *Cognitive processes in animal behavior*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates. Pp. 341-373.
- Olton, D. S., & Collison, C. 1979 Intramaze cues and "odor trails" fail to direct choice behavior on an elevated maze. *Animal Learning & Behavior*, **7**, 221-223.
- Olton, D. S., & Samuelson, R. J. 1976 Remembrance of places passed: Spatial memory in rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **2**, 97-116.
- Pearce, J. M. 1997 *Animal learning and cognition*, 2nd edition. Hove: Psychology Press (Erlbaum UK).
- Roberts, W. A., & Dale, R. H. 1981 Remembrance of places lasts: Proactive interference in rat spatial memory. *Learning and Motivation*, **12**, 261-281.
- Roitblat, H. L., Tham, W., & Golub, L. 1982 Performance of *Betta splendens* in a radial arm maze. *Animal Learning & Behavior*, **10**, 108-114.
- Salas, C., Rodriguez, F., Vargas, J. P., Duran, E., & Torres, B. 1996 Spatial learning and memory deficits after telencephalic ablation in goldfish trained in place and turn maze procedures. *Behavioral Neuroscience*, **110**, 965-980.
- Suzuki, S., Augerinos, G., & Black, A. H. 1980 Stimulus control of spatial behavior on the eight-arm maze in rats. *Learning and Motivation*, **11**, 1-18.
- Talton, L. E., Higa, J. J., & Staddon, J. E. R. 1999 Interval schedule performance in the goldfish *Carassius auratus*. *Behavioural Processes*, **45**, 193-206.
- Williams, F. E., White, D., & Messer, W. S., Jr. 2002 A simple spatial alternation task for assessing memory function in zebrafish. *Behavioural Processes*, **58**, 125-132.

(2006. 2 . 7 受稿, 2006. 4 .18 受理)