

方法

抜いた本数	抜いた箇所(前からの番号)
2	(1,7) (2,6) (3,5)
3	(1,4,7) (2,4,6)
4	(1,3,5,7)

円弧に沿って壁を設置した通路(図 3)を厚紙で作成した。ダンゴムシが反時計回りに通路を歩くように作成したものを“コース A”，時計回りに通路を歩くように作成したものを“コース B”とする。ダンゴムシに通路を歩かせて、通り抜けた後左右どちらに転向するかを観察し、左右の転向した割合を出した。実験に使用したダンゴムシは 10 個体、左右それぞれ 2 回ずつ行った。

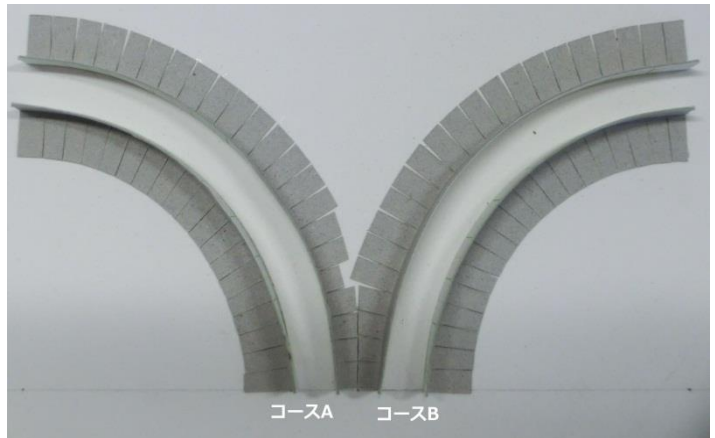


図 3

予想

コース A を通っている間、ダンゴムシは右脚の活動量が左脚よりも大きくなっているため、通路を通り抜けた後は左脚の活動量を大きくするために右に転向する、コース B を通っている間では、左脚の活動量が大きくなっているため、通路を通り抜けた後は右脚の活動量を大きくするために左に転向すると考えられる。

結果(図 4)

グラフより予想通り、コース A では右に、コース B では左に転向する割合が高くなった。

考察

通路を歩いているダンゴムシを観察すると触角や脚が壁に接触し、また通路を出て転向する際にも壁に接触していたので、このデータには、単に活動量の影響だけでなく、壁に触角や脚、体が接触することによる影響もあるのではないかと考えた。

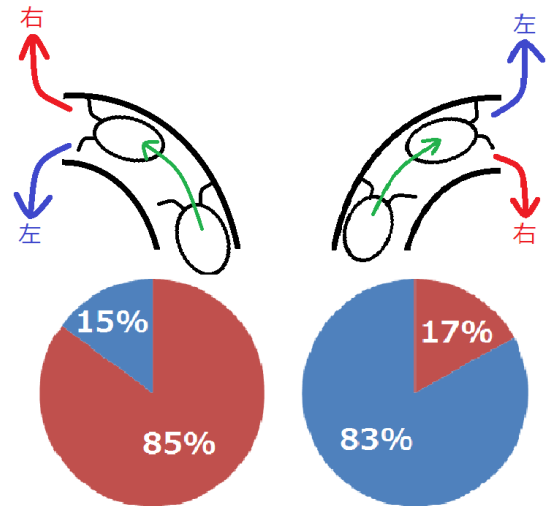


図 4 実験 1 の結果

実験 2 実験 1 での触角や脚、体の接触の要因を排除できる状況での実験を行った。

方法

“ダンゴムシの片脚の活動量は、片脚 7 本の活動量の合計である”と活動量を新たに定義し、ダンゴムシの脚をいくらか抜いた個体で平面上を歩かせた。歩いた軌跡を円とみなし、その半径と、脚を抜いた本数との関係を求めた。ダンゴムシの脚を前から順に 1, 2, 3, …7 と番号をつけ、脚をある本数だ

け抜いて実験を行った(図5)。

抜いた個体それぞれ3個体ずつ用意し、各3回ずつ実験を行った。

追実験では左脚の1~7の1本だけを抜いた個体での実験、左脚の隣り合わせになる2本(たとえば左脚の前から1,2番目,2,3番目など)を抜いたものでの実験を行い、ある1本を抜いたことによって転向が著しくなるのではなく、どの脚も同じように働くことを確認したため、本実験では体の前後でのダンゴムシの体重のかかり方を均等にするように脚を抜いた。また、脚を抜いたショックによって動かなくなった個体もいたが、3回のデータをすべて取り終わるまで動いていたダンゴムシのみの実験データを採用した。

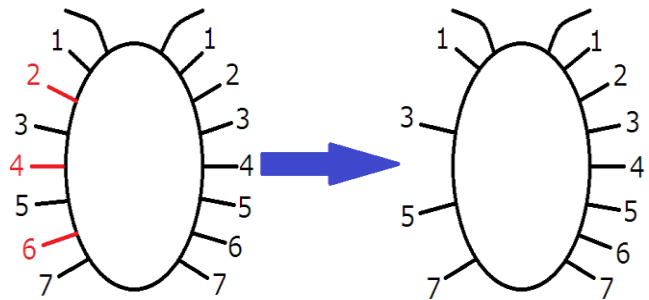


図5

予想

左脚をいくらか抜いた個体では、右脚の活動量よりも左脚の活動量のほうが小さくなっているため、左右の活動量を同じにするために左脚1本1本の活動量を右脚1本1本の活動量よりも大きくするだろう。それによりダンゴムシは時計回りに曲がり続けると予想した。

結果(図6)

ダンゴムシのなかには左脚を抜いたにもかかわらず、ずっと直線的に、あるいは反時計回りに転向した個体もいたが、今回の実験では、時計回りをした個体のみの半径を求め、結果を出した。

図6のグラフより、脚を抜いた本数が大きくなる、すなわち左右の活動量の差が大きくなるほど円の半径が小さくなり、半径の散らばりも小さくなることがわかった。

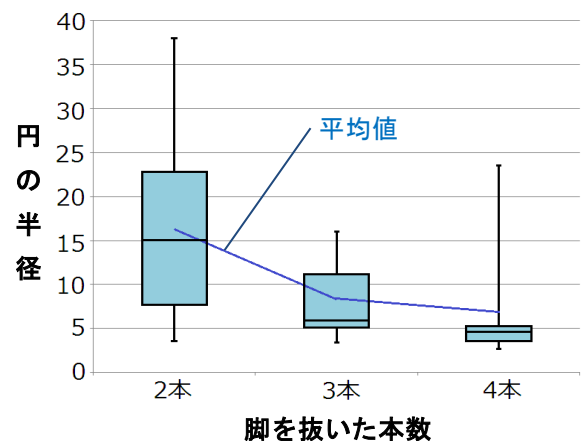


図6 実験2の結果

考察

今回の実験でのダンゴムシの動き方をよく観察したところ、ダンゴムシは緩やかなカーブを描いて歩いているのではなく、直線的に歩き、ある程度直線的に歩いたら少し時計回りに転向し、また直線的に歩く、ということを繰り返していた。また脚を抜いた本数が多

くなるほど直線的に歩く距離が短くなっていることが分かった。このことから、ダンゴムシはある程度左右の活動量の差が大きくなったときに転向し、それまでは直線的に歩く。さらに、脚を抜いた本数が多くなるほど、同じ距離を直線的に歩いたとき、左右の活動量の差が大きくなるため、少ないときよりも短い距離で転向する。それによって脚を抜いた本数が多くなる、つまり左右の活動量の差が大きくなるほどダンゴムシが歩いた軌跡を円とみなした場合の半径が小さくなったと考えられる。

また、直線的に、あるいは反時計回りに転向した個体について、1個体ずつのデータを見ると、3回行っ

た実験のうちに“正しく”時計回りに転向する場合や反時計回りに転向する場合、直線的に進む場合がある個体よりも3回の実験すべてで反時計回りや直線的に進んだ個体のほうが多かった。左脚を4本抜いた個体で円の半径が著しく大きくなっているデータがひとつあったが、この個体についても3回の実験のうち残りの2回は直線的に進んだためこのデータはこの個体の性質が反映されたものだと考えた。このことから、このはずれた値が出たのはダンゴムシ1個体1個体の個体差の影響であると考えられる。同様に左右の活動量の差が小さい(脚を抜いた本数が少ない)時のデータの散らばりが大きいのもダンゴムシの個体差の影響だと考えた。さらに、活動量の差が大きくなるほど活動量の差による影響が大きくなることで個体差による影響が小さくなる。それによって活動量の差が大きくなるほどデータの散らばりが小さくなったと考えた。

実験2の結果より左右の活動量の差を打ち消すために交替性転向反応が起こるというBALM仮説は正しいと考えられる。

仮説2: 交替性転向反応は触角だけでなく、脚の接触も関係している。

先行研究の検証実験

先行研究(林, 2013 参考文献③)では、交替性転向反応は“触角の接触”も関係していると述べられている。

この先行研究が本当に正しいのかを検証するために、**図7**のような触角を抜いたものと触角を抜かなかったものを用意し、**図8**のようなT字迷路を用いて実験をした。

すると、触角があるダンゴムシの方が交替性転向反応を起こす割合が高くなった。この結果より、先行研究で述べられていることが正しいと確認できた。

しかし、ダンゴムシの交替性転向反応をよく観察してみると先行研究のように触角を壁に当てていることに加えて、壁に沿いながら歩いていることに気づいた。

そこで、触角だけではなく、“脚の接触”も交替性転向反応に関係しているのではないかと考えて新たに実験を行った。

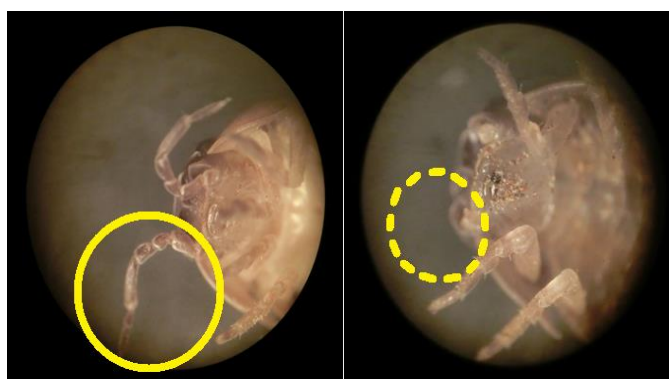


図7

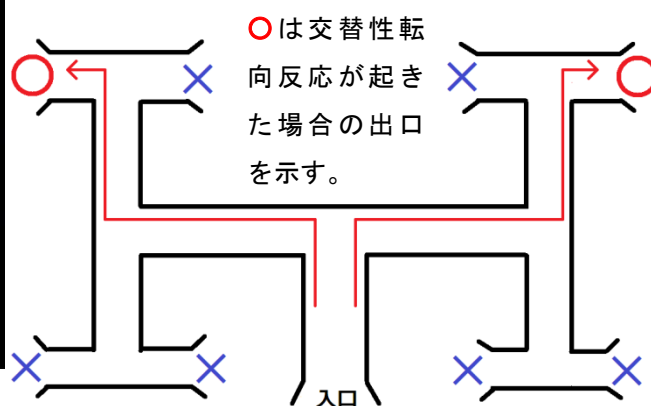


図8

実験 触角ありとなし，壁に脚が当たると当たらない場合を組み合わせた実験を行う。

方法

先行研究の検証実験で用いた触角あり（処理をしていない）と触角なし（両方の触角を抜く）のダンゴムシをそれぞれ 10 個体ずつ用意する。

検証実験で用いた壁に脚が当たる迷路（図 9：通常の T 字迷路）と壁に脚が当たらないような工夫をした迷路（図 10：下の台紙から 2mm 空けている T 字迷路）を作成する。

触角ありで壁に脚が当たる迷路・当たらない迷路，触角なしで壁に脚が当たる迷路・当たらない迷路の 4 通りをそれぞれの個体で 5 回、計 50 回ずつ実験する。全実験個体数に対する図 8 の○印の出口に到達した個体の割合を、交替性転向反応の割合とした。

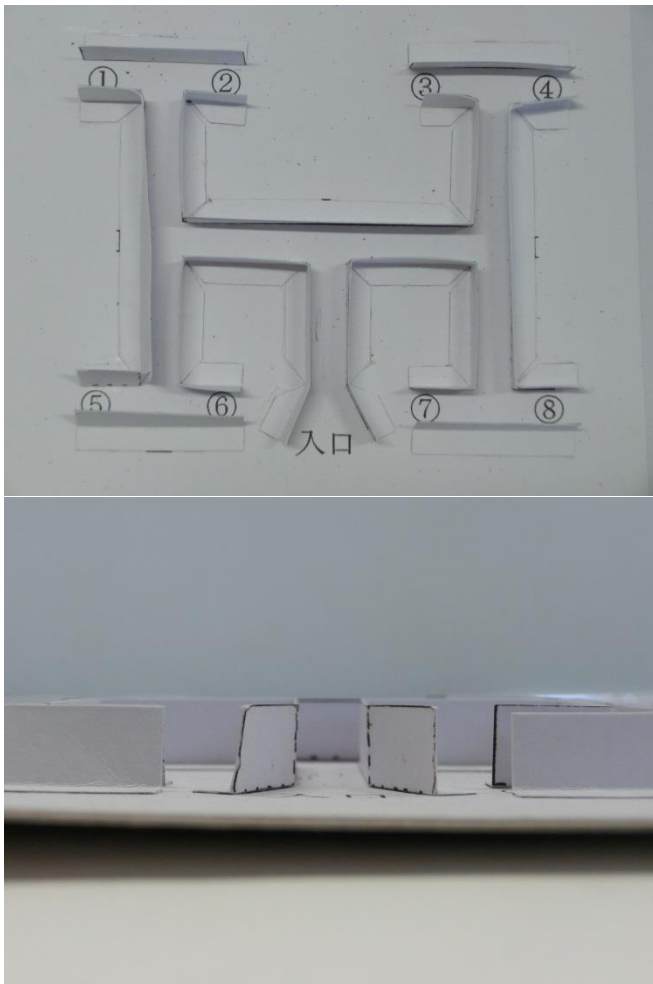


図 9 脚が壁に当たる通常の迷路
（上図：上方から見た、下図：入口を側方から見た T 字迷路）

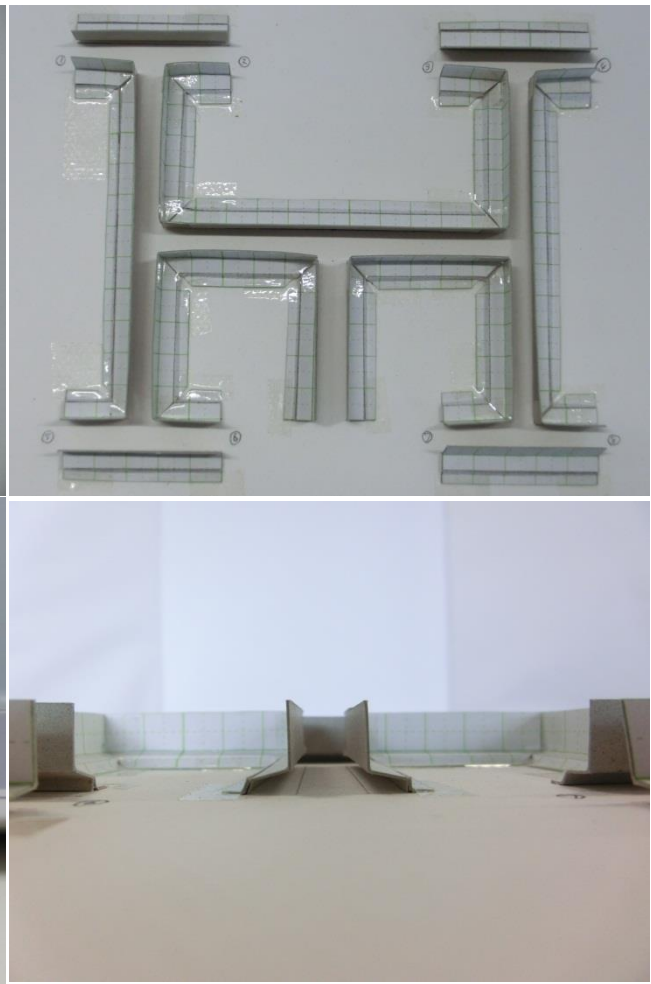


図 10 脚が壁に当たらないように工夫した迷路
（上図：上方から見た、下図：入口を側方から見た T 字迷路）

結果 図 11 のグラフの通りである。

考察

・触角・脚の接触は交替性転向反応に関係するのかを調べた。

図 11 は実験結果をまとめたものである。赤色の棒グラフは壁に脚が当たる、緑色の棒グラフは脚が壁に当たらない迷路での転向した割合を表している。このグラフを見てみると、触角ありと触角なしでは触角ありが、脚が当たるのと当たらないのでは当たる方が交替性転向反応を起こす割合が高くなっていることが分かる。このことから、触角・脚は、ともに交替性転向反応に関係していることが確認できた。

・触角・脚などの要因が交替性転向反応に関係している割合を算出した。

まず、何の要因もなくランダムに転向したとすると、25%となる。なぜなら、私たちの使用した T 字迷路の出口は 8 つあり、1 つの出口に偶然出てきた割合は 1/8 となる。それを計算すると 12.5% となり、図 8 の T 字迷路で示している 2 つの○が描かれている出口に出てくる割合は 12.5+12.5 となり、25% と計算できるからである。また、触角なし・壁に脚が当たらない、という接触が全くない状態での交替性転向反応が起こった割合は 40% という結果が得られた(図 11, 触角なしの緑色のグラフ)。この 2 つの割合の差である 15% は最初の仮説 1 で述べた、活動量の差を打ち消そうとして交替性転向反応が起こる BALM 仮説によるものだと考えることができる。ただし、壁への体の接触を保とうとすることによるものとも考えられる。

また、脚の接触による割合は、触角あり・触角なしの 2 つのグラフ同士をそれぞれ引き算して出した 10~26%、触角の接触による割合は、壁に脚が当たる・当たらないという 2 つのグラフ同士をそれぞれ引き算して出した 20~36% となった。

これらの数値をみると、BALM 仮説や脚の接触よりも触角の接触によって交替性転向反応が起こる割合の方が大きくなっていることが分かる。この結果より、私たちの考えた“脚の接触”が交替性転向反応に関係している、という仮説は支持された。また、触角の接触、脚の接触はともに交替性転向反応に関係しており、反応を引き起こす要因として脚の接触よりも“触角の接触”が重要である、と考えた。

今までは BALM 仮説と触角の接触により交替性転向反応が起こっていると考えられていた。しかし、私たちの研究によって新しく“脚の接触”も関係していることが分かった。そして、実験結果の割合より、**触角の接触 > 脚の接触 > 脚の活動量の差 (BALM 仮説)** の順で交替性転向反応により関係しているという結果が得られた。

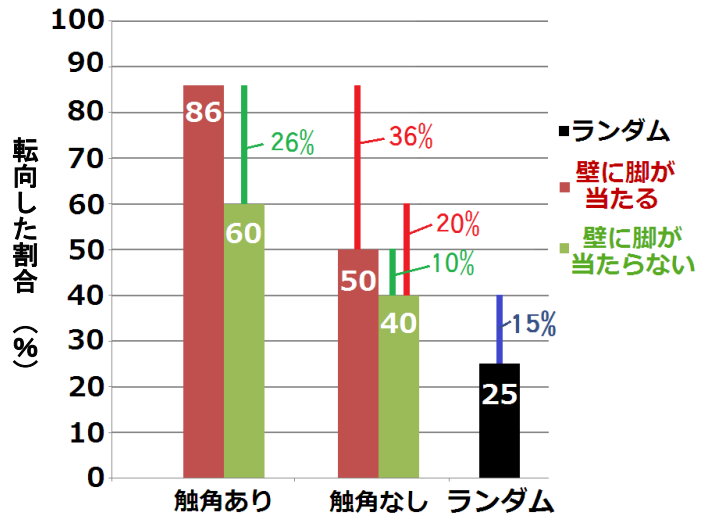


図 11 実験 3 の結果

課題

脚が当たらない迷路を作成して実験を行ったが、よく観察してみると体が壁に接触していることが新たに分かった。このことを考慮すると、BALM によって起こったと考えた 15%分は“体の接触”も含んだ割合かもしれないと考察することができる。そこで、次は“体の接触”を含まずに純粹に BALM だけが交替性転向反応に関係している割合を出せる迷路を作成し、実験を行いたいと考えている。また、“体の接触”も交替性転向反応に関係しているのかもしれないと考えているので、“体の接触”と交替性転向反応との関係を調べ、割合が出せるような迷路を作成したいと考えている。しかし、“体の接触”が交替性転向反応に関係していたとしても、BALM によって交替性転向反応が起こる割合が下がるのみであり、結果で述べた **触角 > 脚 > BALM** の関係性は保たれると考えられる。

それぞれの要因が交替性転向反応に関係する割合を出した実験で、**触角の接触 > 脚の接触 > BALM 仮説** という順番により重要であるという結果がでたと先ほどの実験結果で述べた。しかし、それぞれの値の幅が大きく信憑性が低いと考えられる。そこで、もっと多くの個体数・実験回数で実験をし、より信憑性の高い数値を出したいと考えている。

仮説 3 交替性転向反応は明るい環境よりも暗い環境のほうが起こりやすい。

実験 明下、暗下の環境に置いた T 字迷路でダンゴムシの転向反応を観察する。

実験方法

これまでの実験を蛍光灯の光で明るくなった実験室で行ってきたが、ダンゴムシはコンクリートの下などの暗い環境で生活をしている。そこで、明るい環境と暗い環境とでの交替性転向反応が起こる割合は変わるのかを調べるための実験をした。

図 12 のように迷路にダンボールをかぶせて暗くした環境 (0Lux) といつも実験をしている部屋での明るい環境 (150~170Lux) との交替性転向反応の割合を比較した。実験は、図 9 の脚が壁に当たる通常の迷路を用い、今までと同様に、図 8 の○の出口に到達した割合を、交替性転向反応の割合とした。実験はダンゴムシ 3 個体を暗いとき、明るいときでそれぞれ 5 回ずつ、計 15 回行った。



図 12 迷路にダンボールをかぶせる様子

結果(図 13)

明るいときは 80%の割合で、暗いときは 93%の割合で交替性転向反応が起こった。

このことから暗いときの転向する割合のほうが、明るいときの転向する割合よりも高いことがわかった。

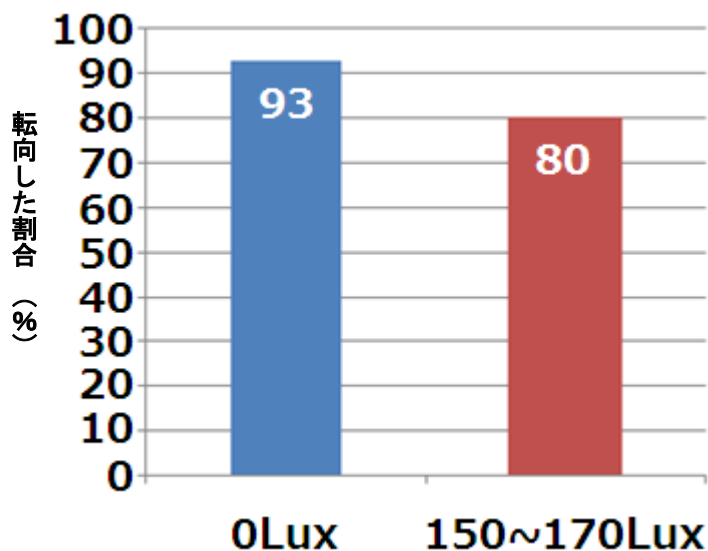


図 13 実験 4 の結果

考察

照度はわずかに交替性転向反応に関係していると考えられる。しかし、先行研究(井伊・堂元ら, 2013 参考文献④)では、迷路を暗箱で覆った場合や左右の複眼を塗りつぶした場合でも、コントロールに対して、転向反応の割合が低下したと報告されている。本実験では、

これとまったく反対の結果となり、現在のところその理由は不明である。

しかし実験個体が少なく、明るいときと暗いときの差も 13%であるため誤差の範囲内とも考えられる。

4. 参考文献

- ① Hughs,R.N. “Mechanisms for turn alternation in woodlice”(1985)
Animal Learning & Behavior 13:253-260
- ② 森山 徹 “変異行動からの眺め” (2011)
日本比較生理生化学誌 28:273-277
https://www.jstage.jst.go.jp/article/hikakuseiriseika/28/3/28_273/_pdf
- ③ 林 靖人 “オカダンゴムシの交替性転向反応はなぜ起こるのか?” (2013)
つくば生物ジャーナル(Tsukuba Journal of Biology) 12
- ④ 伊井 美沙紀, 堂元 詩織, 伊藤 慎, 田中 浩輔
“オカダンゴムシの交替性転向反応に関する研究” (2013)
(杏林大学学生リサーチ賞受賞報告)
<http://plaza.umin.ac.jp/kyorinms/journal/45/hois19.pdf>

5. 謝辞

この研究に当たり、さまざまなご指導をしてくださいました担当の林先生には本当にお世話になりました。1年半もの間、私たちの研究を温かく見守ってくださりありがとうございました。