

「絶滅危惧種を守れ！」 ～マルチエージェントシミュレータを用いて～

愛知県立高蔵寺高等学校 1年 大俣 美佳

1 はじめに

一昨年、私の住んでいる愛知県では、EXPO2005「愛・地球博」が開催されました。私も「青少年のための科学の祭典in愛・地球博」にブース出展するなど、沢山の思い出を作ることができました。多くの来場者で賑わったこのイベントは、将来の地球環境を考えていく上でとても有意義でした。なかでも、私は日立館で紹介されていた「絶滅危惧種」について大きな衝撃を受けました。そこで紹介されていた動物たちは、特殊な動物と言うよりも、私が幼い頃から絵本や動物園で身近に親しんできた動物たちだったのです。例えば、トラ、アフリカゾウ、クロサイ、オランウータンなどが、絶滅危惧種に指定されているのです。私は幼い頃から動物が大好きでした。何度もいろいろな動物園へ行き自分で何枚も何枚も動物の写真を撮り小学生の頃には写真付きの『どうぶつずかん』というホームページを作ったほどでした。

「愛・地球博」では、会場で環境に優しい取り組みをするだけでなく、私たちが普段何をすべきなのかを紹介していたので、私もすぐに実践したくなりました。例えば、レジ袋を断るとか、冷房を控えるとか、資源のリサイクルに協力することなどです。いずれも簡単なことばかりですが、分かっているもなかなか実行できないことも多いと感じました。しかし、多くの人々が環境に優しい取り組みを積み重ねることによって、ひいては「絶滅危惧種」を守ることに繋がると思います。

私は、「絶滅危惧種」を守るために、さらに、できることはないだろうかと考え、今回のテーマを設定しました。

2 絶滅危惧種を守る目的とは

では、トラ、アフリカゾウ、クロサイ、オランウータンなどの絶滅を防ぐ理由は何でしょうか。

- ・ 絶滅する動物がかわいそうだから。
- ・ 動物園の人気者がいなくなったら、未来の子どもたちがかわいそうだから。

私は、そう考えていました。もちろん、それらは正しい考えなのですが、絶滅危惧種について調べていく中で、もっと重大な理由があることが分かりました。自然界では、多様な生物が網の目のような食物連鎖の関係で繋がっており、生物の種が絶滅していくと、自然界のバランスが崩れていってしまうのです。自然界のバランスは、「生物の多様性」によって保たれているのです。また、生物の多様性のおかげで、病気を治すことのできる薬草が手に入ったり、衣食住に役立つ原料が手に入ったりするのです。つまり、トラやアフリカゾウを守ることは、私たち人間を守ることでもあるのです。

3 絶滅の危機に陥る原因とは

国際自然保護連合（IUCN）の2006年版レッドリストには、最も絶滅の恐れが高いとされる、3つのカテゴリーに、動植物合わせてなんと16119種類がリストアップされています（http://www.iucn.org/the_mes/ssc/redlist.htm）。生物が絶滅の危機に陥る原因として、私は次のような場合を考えました。

- 1 乱獲による場合。
- 2 外来種が在来種の生態系に悪影響を与える場合。
- 3 地球温暖化による場合。
- 4 生息区域が減少する場合。

1は、毛皮や牙を利用するために過剰に捕獲した結果、生物が絶滅の危機に陥る場合であり、現在はワシントン条約（絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約）に基づき、トラフィック（<http://www.trafficj.org/index.htm>）等の活動によって保護されています。2は、輸入した外来種のペットが逃げ出して、在来種を絶滅の危機に陥らせる場合などで、現在では、外国産のカブトムシなどが野生化するおそれなどが心配されています。3は、温暖化により、生育環境が悪化した場合で、私たちが、温室効果ガスの減少に努めて行くしか方法はありません。4は、土地の開発等によって野生動物の生息域が狭くなってしまった場合です。土地の開発そのものをやめることはたいへん困難です。そこで、今回の研究では、この4の場合の対策について考えていくことにしました。

4 ロトカ・ボルテラ方程式について

食物連鎖において個体数の推移をシミュレーションする場合には「ロトカ・ボルテラ方程式」が有名です。ロトカ・ボルテラ方程式をコンピュータで解き、グラフ化すると、個体数の増減が周期的に位相がずれて繰り返されていることがわかります。この場合、個体数の数量の増減をシミュレーションすることはできますが、草原が狭くなるなどの「生息域の減少」に伴う影響などを計算することは残念ながらできません。

生息域の減少という要因を研究するためには、マルチエージェントシミュレータを使うのが最も有効であると私は考えました。

5 シミュレーションの方法

KK-MASのサンプルモデルとして紹介されている「オオカミとヒツジモデル」（<http://www.i-learn.jp/eduwoods/abs/wolfsheep.html>）を利用することにしました。このモデルの原典は米国タフツ大STARLogOTで公開されている「オオカミとヒツジ」モデルです。KK-MASへの移植に際して若干の変更が加えられ

ているそうです。

「オオカミとヒツジモデル」は、弱肉強食の生態系を探索するもので、2つのバリエーションが存在します。1つは、オオカミとヒツジのみによる生態系であり、もう1つは、それらに牧草要素を加えたものです。

私の実験では、牧草要素を含めたバリエーションを利用することにしました。その理由は、安定している系であるということです。私が行いたい実験は、次のようなものです。まず、安定した生態系が、生息域の減少に伴って、不安定になり、絶滅してしまう現象をシミュレーションで確かめます。次に、その対策を考え、シミュレーション実験で検証するのです。そのためには、安定した系をもとにして実験したかったのです。

サンプルモデルをそのまま利用することができれば良かったのですが、実験を進める中で、色々な変更や機能の追加をしたくなり、プログラムの変更を行いました。プログラミングは初めてだったので、私が期待した通りに動かすまでには、大変な苦勞がありました。

そして、何度も予備実験を重ねることによって、実験の条件に適切な数値を経験的に求めました。その結果、次のような初期値や条件で実験を行うことにしました。

エージェントごとの設定条件

「牧草」

- ・ヒツジの餌となり、ヒツジが食べるとなくなります（白で表示）。
- ・1ステップごとに色が濃くなり、10ステップで元に戻ります（緑で表示）。
- ・食べられる牧草の最初の数は500です。

「ヒツジ」・・・草食動物を表す

- ・個々のヒツジの体力の初期値は10までの乱数です。
- ・ステップ毎に体力が1ずつ減ります。
- ・体力が0になったら死にます。
- ・牧草を食べると体力が5だけ増加します。
- ・ただし体力の最大値は100です。
- ・ステップ毎にランダムに1マス移動します。
- ・100までの乱数値が3よりも小さい時は繁殖し、体力が半分になります。
- ・最初のヒツジの数は100です。

「オオカミ」・・・肉食動物を表す

- ・個々のオオカミの体力の初期値は60までの乱数です。
- ・ステップ毎に体力が1ずつ減ります。
- ・体力が0になったら死にます。
- ・ヒツジを食べると体力が3だけ増加します。
- ・ただし体力の最大値は300です。
- ・ステップ毎にランダムに1マス移動します。
- ・100までの乱数値が2よりも小さい時は繁殖し、体力が半分になります。
- ・最初のオオカミの数は50です。

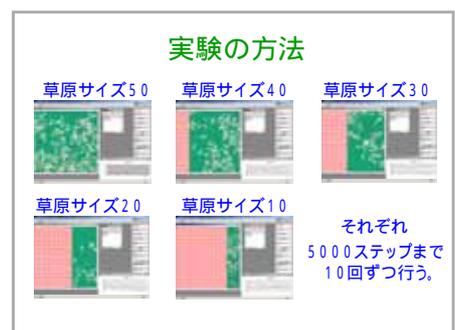
プログラムの主な変更点

- 1 数値をスライダーでなく数値で入力できるようにしました。
実験の条件を入力しやすくするためと、数値の範囲を限定されないようにするためです。
- 2 マップのサイズを25×25から50×50にしました。
25×25のサイズでは不安定なので、広くて安定した草原と、狭くした場合を比較するためにマップを広く取りました。
- 3 草原の上下、左右がグループしているのを解除しました。
右端に行った動物が左端から出てきたり、上端にいったものが下端から現れるのは不自然だからです。
- 4 草原を狭くする機能を追加しました。
マップ全体の広さは50×50です。草原サイズ=50と設定すると50×50の範囲全てが草原になります。草原サイズ=40と設定すると、草原の幅は40になり、マップの右から40×50の範囲が草原になります。この時、残りの部分には、赤い×印がつき、生物は生息できません。これは、土地の開発等によって生息域が狭められたことを示しています。同様に草原サイズ=30と設定すれば30×50の範囲が草原になります。この機能を利用して、草原サイズ=50、40、30、20、10の5種類で実験し、草原の広さと食物連鎖系の安定性を調べようと考えました。
- 5 「保護エリア」という機能を追加しました。
これは、私が考えた、絶滅を防ぐための「秘策」です。詳しくは後で述べます。

6 実験と結果

以上に述べた条件で、草原サイズが、50、40、30、20、10のそれぞれについて10回ずつ実験を行った結果が資料1～5です。なお、1回の実験のステップ数は、5000ステップと長めに設定しました。頭数グラフは、時間（ステップ）毎のヒツジとオオカミの数の変化を表しています。

アイソクラインはヒツジの数をx軸、オオカミの数をy軸にとったグラフです。ロトカ・ボルテラ捕食モデルのアイソクラインは、反時計回りに、おむすびのような軌道を描くことが知られています。アイソクラインにおいて、軌道が、x軸やy軸に接した場合、ヒツジとオオカミのどちらかが絶滅したことを意味します。ですから、x軸やy軸から、ある程度の距離を保ちながら軌道を描いていれば、安定した捕食系であることがわかります。



結果を見ると、草原サイズ40と50は比較的安定しており30、20、10と、狭くなるにつれて、頭数の変化が不安定になり、絶滅しやすくなっていることがわかります。特に草原サイズ10の場合は、すぐに絶滅してしまいました。

私は、草原サイズが大きくなれば大きくなるほど、どんどん安定した系になると思っていました。しかし、草原サイズが50と40とでは、確かに50の方が安定していましたが、あまり違いが見られませんでした。その原因として思い当たることは次のようなことです。草原サイズが50の実験をよく観察していると、草原が広すぎるためにヒツジとオオカミの分布が偏り、オオカミが獲物に出会いにくくなり、捕食系が不安定になることがあったのです。

さて、いよいよ本題である「絶滅危惧種を守れ!」というテーマに関して私のアイデアを提案します。常識的にはオオカミとヒツジの場合、絶滅しやすいのは数の少ないオオカミだから、それを保護しようと考えます。実際、世界中の動物園などで絶滅危惧種が保護されています。しかし、絶滅危惧種である肉食の動物を保護し、増やしてから自然に帰しても、餌がとれないなど、なかなかうまくいかないようです。そこで私は今までの考えをいっそ捨ててしまって、逆転の発想で絶滅危惧種を守ろうと考えました。それは、数の多いヒツジを保護することによってオオカミの絶滅を防ごうというものです。

具体的な実験の方法は以下の通りです。先ほど実験を行った5つの草原サイズに対して「保護エリア要素」をONにして、それぞれ10回の実験を行いました。草原の中央あたりにある青い×印が「保護エリア」です。このエリアにはヒツジは自由に出入りできますが、オオカミは入ることができません。つまりヒツジが安全に暮らすことができるエリアなのです。保護エリアのサイズは5つの草原サイズの全てにおいて10×20に設定しました。このサイズと形は、予備実験を何度も行った結果、経験的に定めたものです。

その実験結果が、資料6～10です。全ての実験において、めざましい成果が得られました。草原サイズ50～20においては、保護エリアを設定することで、たいへんきれいな周期的なグラフが得られ、アイソクラインの軌道を見ても捕食系が安定したことがわかります。

ヒツジの保護エリアを設定することは、オオカミを閉め出すことであり実質的にオオカミの生息区域は狭くなります。それにもかかわらず、普通ならすぐに絶滅してしまうような狭い草原でも、絶滅しにくくなったのです。これは、保護エリアを設定することで、オオカミの餌を安定して供給できるようになったためだと考えられます。このことは、実験中の画面の動きからも、一目で見取ることができました。

7 まとめ・結論

絶滅危惧種を守るためには、その保護ばかりに目を奪われがちです。しかし、自然界のバランスは「生物の多様性」によって保たれているという観点に立ち、食物連鎖のつながりに目を向け、周りの動物を保護することによって、絶滅危惧種を効果的に守ることができるが、この実験によって明らかになりました。今までのように檻の中で絶滅危惧種を保護するよりも、今回の実験のように、絶滅危惧種を間接的に保護した方が、より野生に近い状態で守っていると言えます。自然界のバランスを保つという意味からも望ましい方法だと言えます。

今回の実験ではエージェント名として、オオカミとヒツジという名を用いましたが、もちろん他の捕食系にも当てはめることができます。例えば、野ねずみと山猫の食物連鎖の場合ならば、保護エリアとして野ねずみだけが入ることのできる穴の沢山あいた隠れ家を作ればよいでしょう。また、魚と鮫の食物連鎖ならば、保護エリアとして、魚だけが逃げ込める人工の珊瑚礁を作ることなどが考えられます。

「希少動物の保護のみに目を奪われないという精神」を言い換えれば、身の回りのありふれた、どんな動物にも優しくすることが、生態系の安定には必要であるということではないでしょうか。

8 感想

実際には実験できないことをシミュレーションという形で実験できるマルチエージェントシミュレータを利用することにより、私が漠然として考えていたアイデアの有効性が実証でき、とても嬉しく思います。

また、今回の実験にちょうど良いサンプルプログラムに出会えたのはラッキーでした。しかし、コンピュータのプログラムを作るのは初めてだったので、サンプルプログラムを改良するだけでもたいへんでした。サンプルプログラムがなかったら今回の研究はできなかったと思います。もっとプログラムの勉強をして、自分の使いたい機能を自由自在に追加できるようになりたいと思いました。最後に、KK-MASを快く貸与していただいた構造計画研究所に厚く感謝申し上げます。

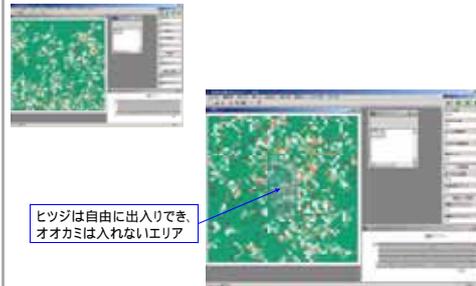
確かめられたこと

草原のサイズと絶滅するまでのステップ数(平均)

草原サイズ	50	40	30	20	10
ステップ数	3964	3832	2298	1348	77

草原が狭くなるほど絶滅しやすくなる。

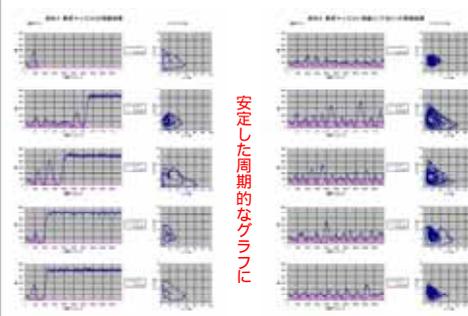
そこで「保護エリア」を設定



ヒツジは自由に出入りでき
オオカミは入れないエリア

「保護エリア」なし

「保護エリア」あり



安定した周期的なグラフに

絶滅するまでのステップ数(平均)

「保護エリア」なしの時

草原サイズ	50	40	30	20	10
ステップ数	3964	3832	2298	1348	77

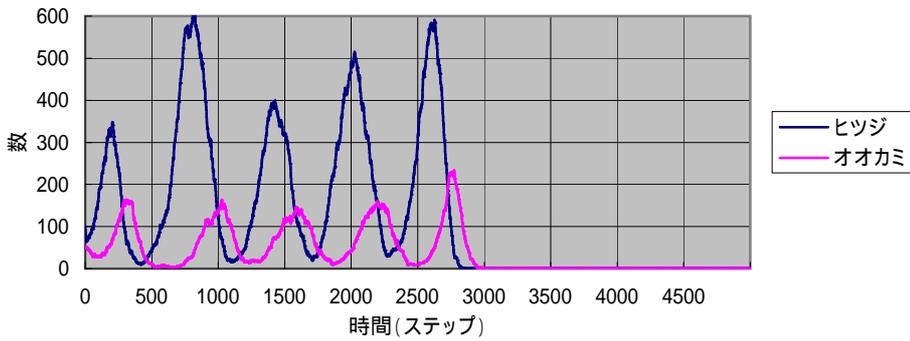
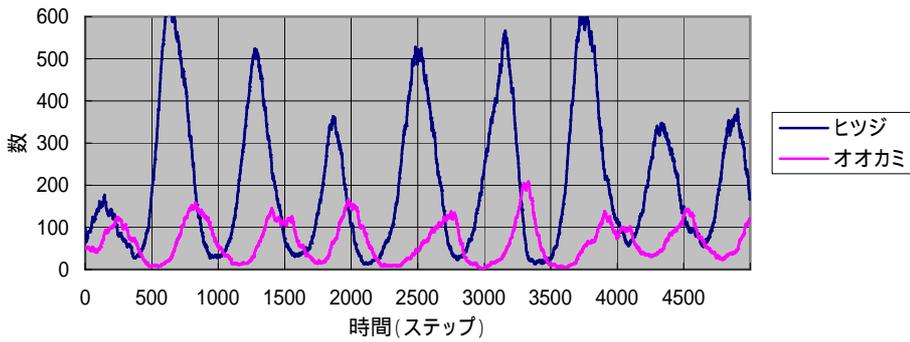
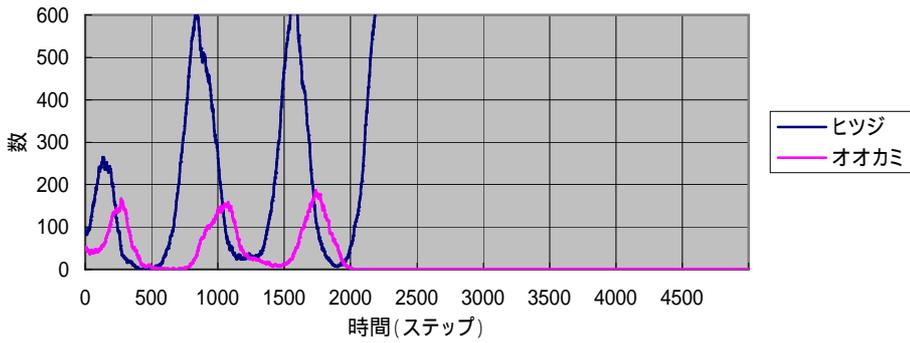
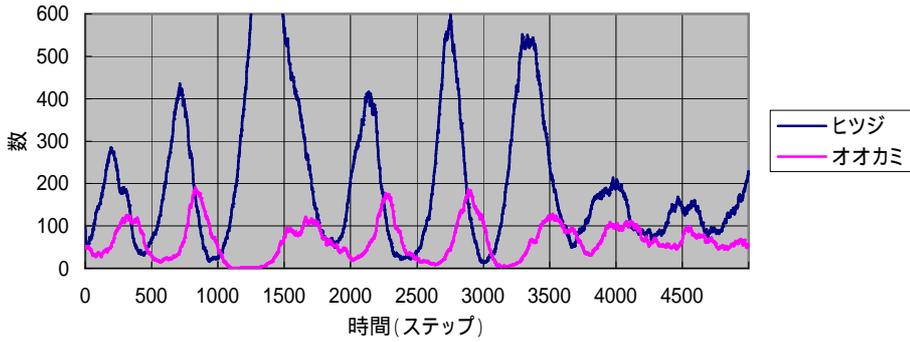
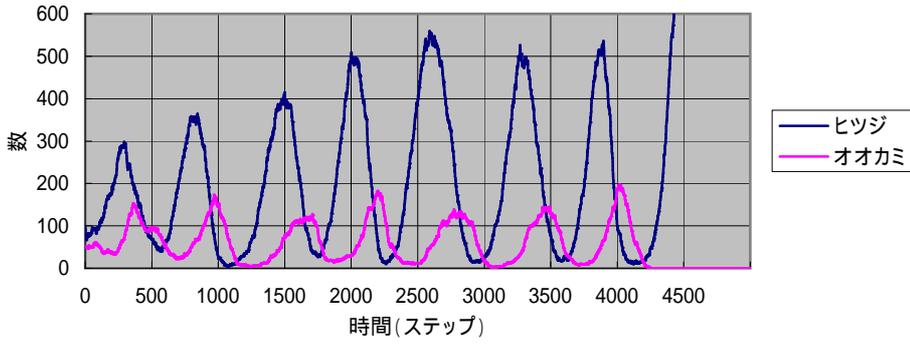
「保護エリア」ありの時

草原サイズ	50	40	30	20	10
ステップ数	5000	5000	5000	5000	4926

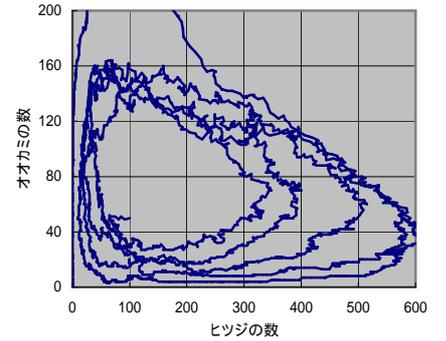
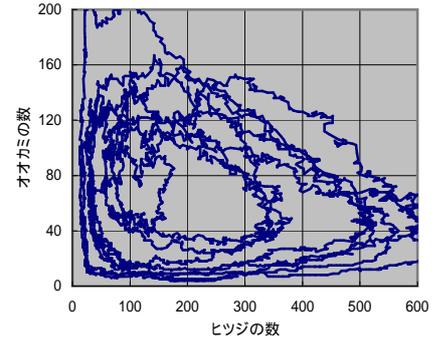
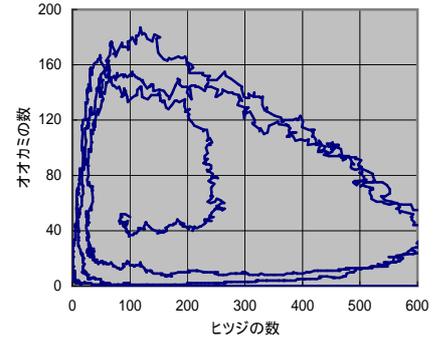
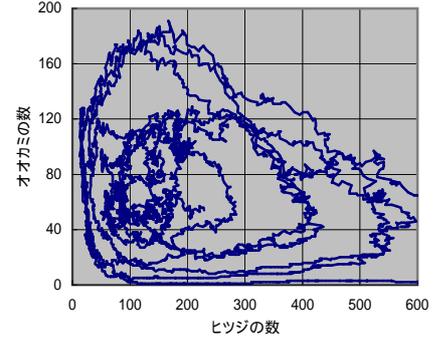
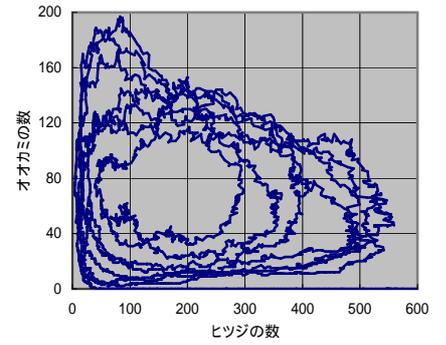
「保護エリア」で めざましい成果

資料1: 草原サイズ50の実験結果

頭数グラフ

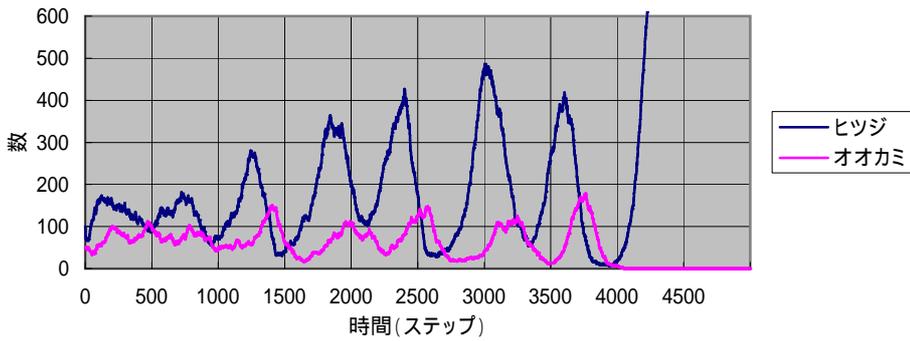
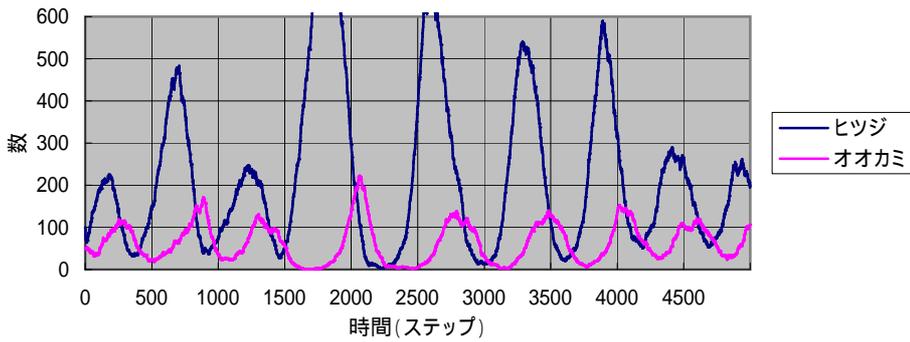
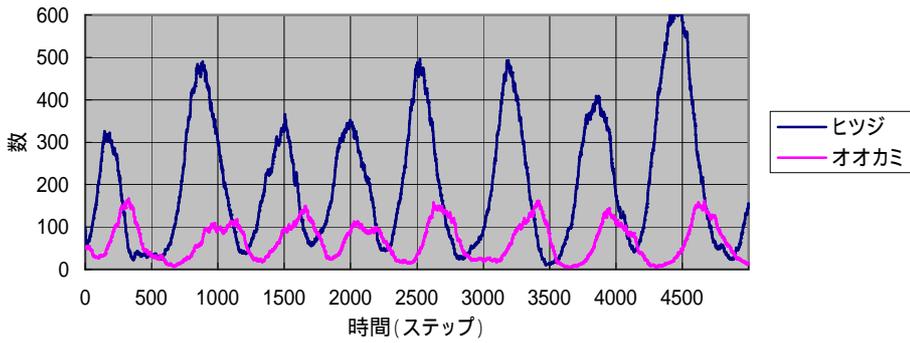
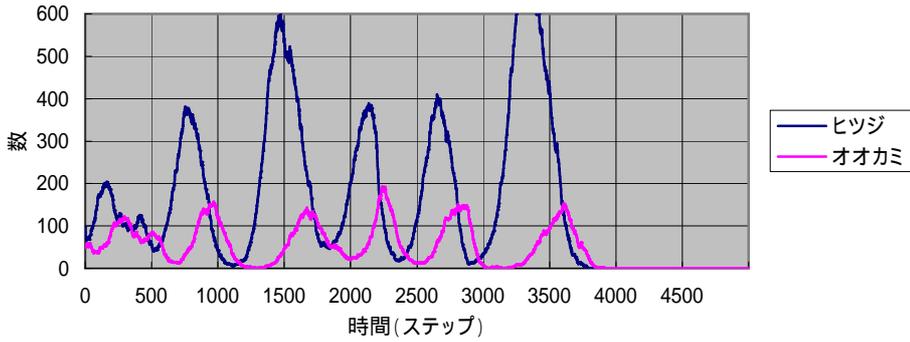
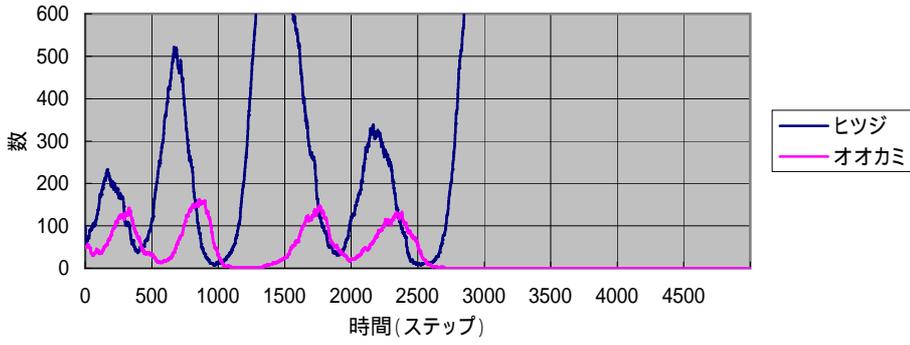


アイソクライン図

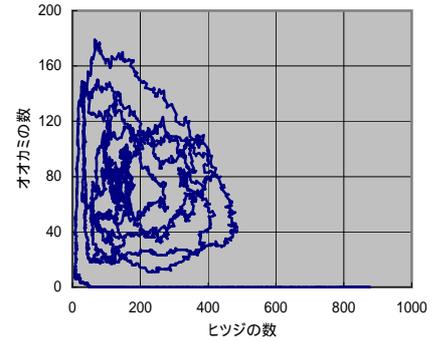
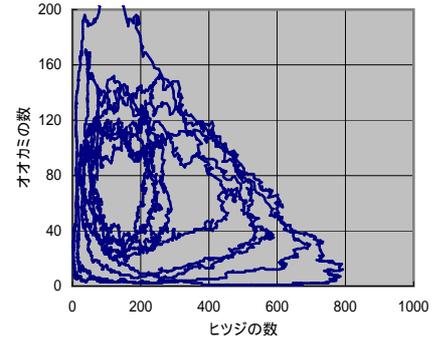
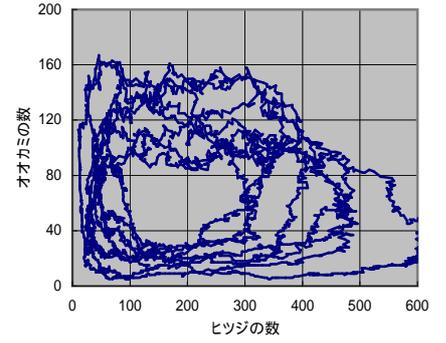
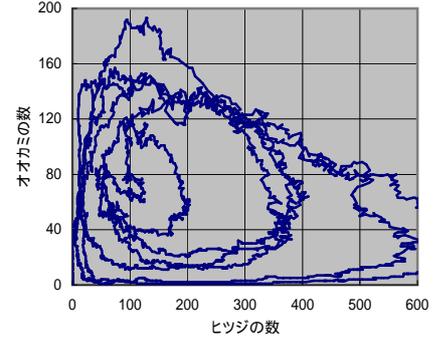
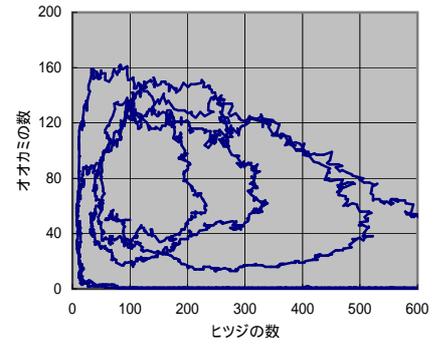


資料1: 草原サイズ50の実験結果2

頭数グラフ

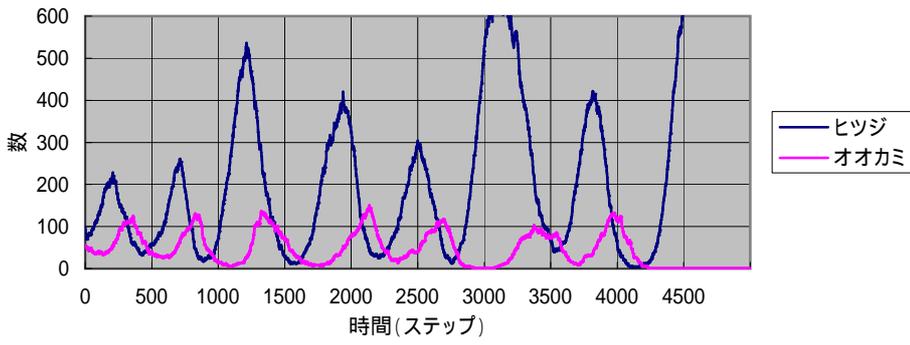
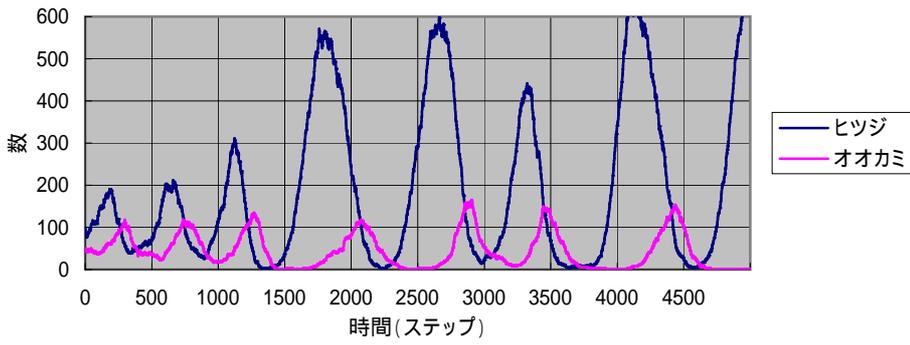
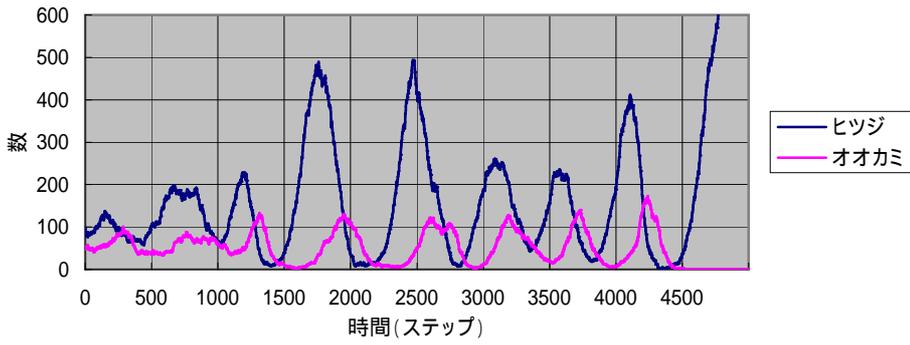
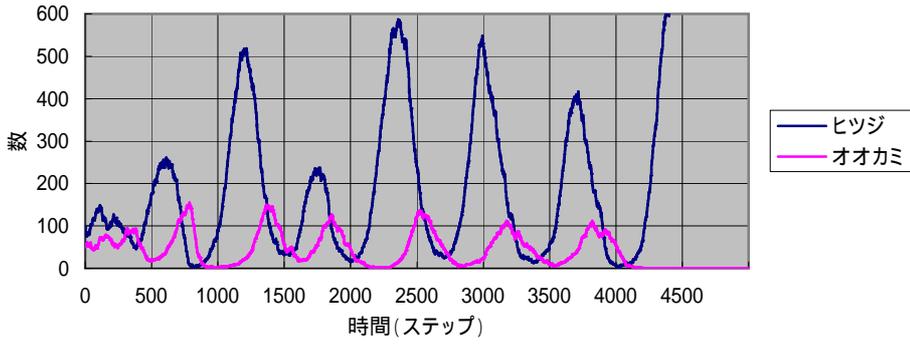
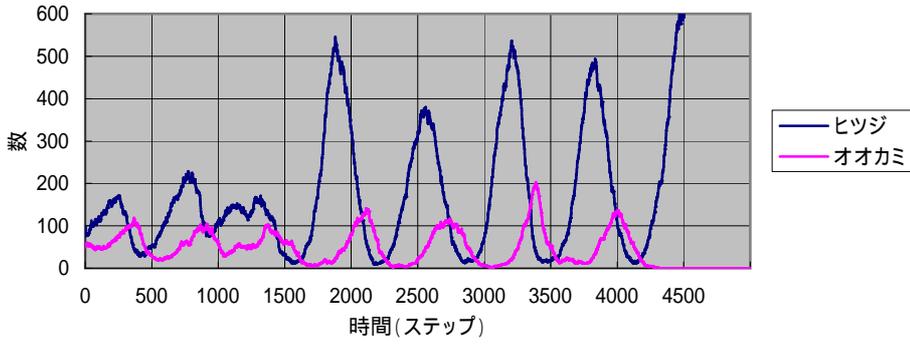


アイソクライン図

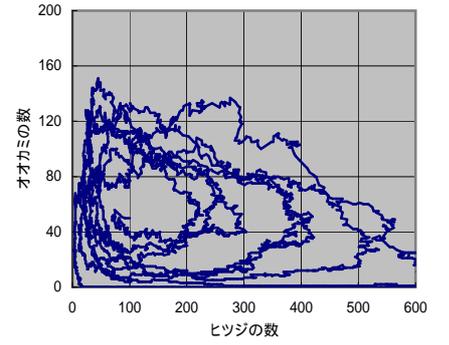
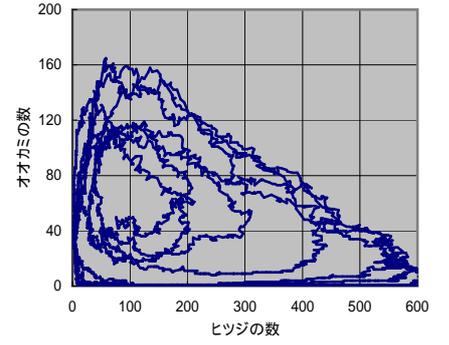
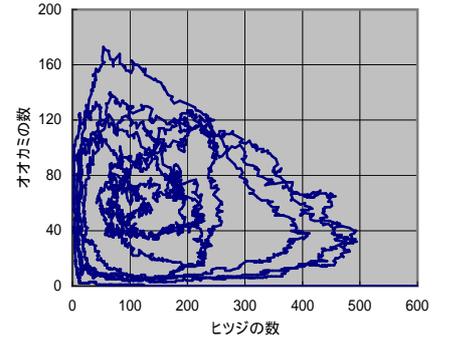
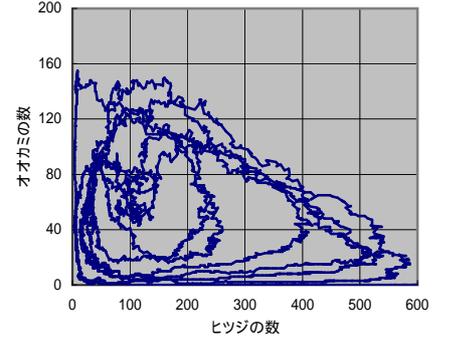
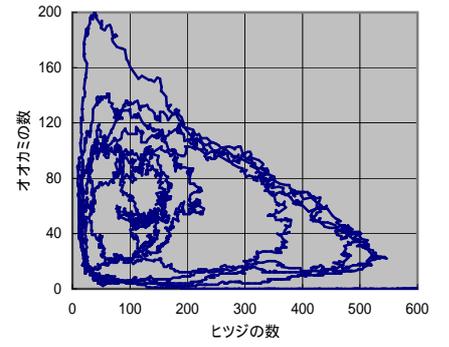


資料2: 草原サイズ40の実験結果

頭数グラフ

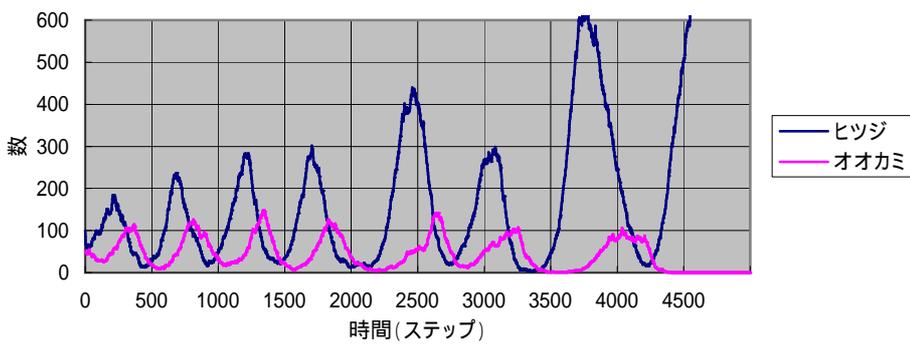
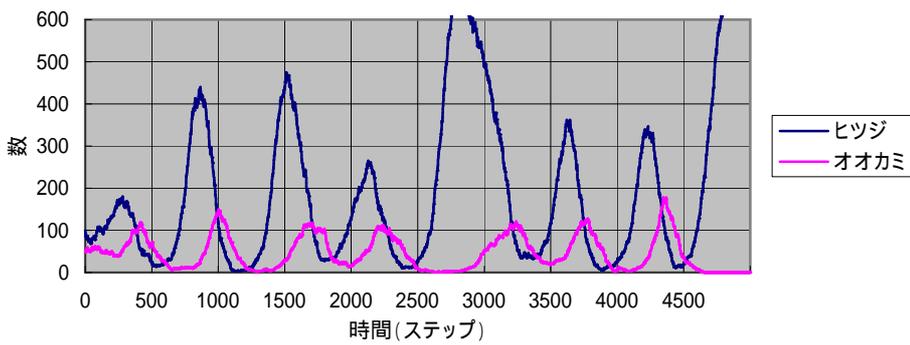
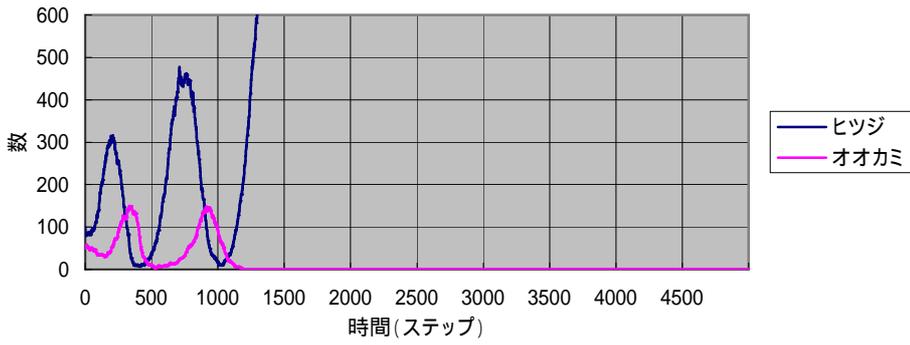
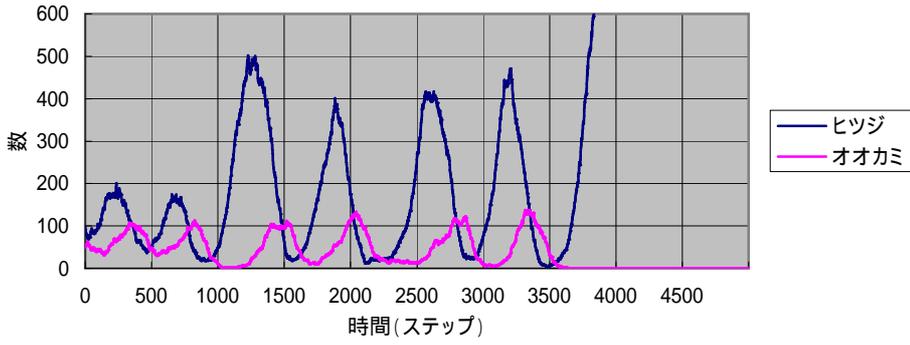
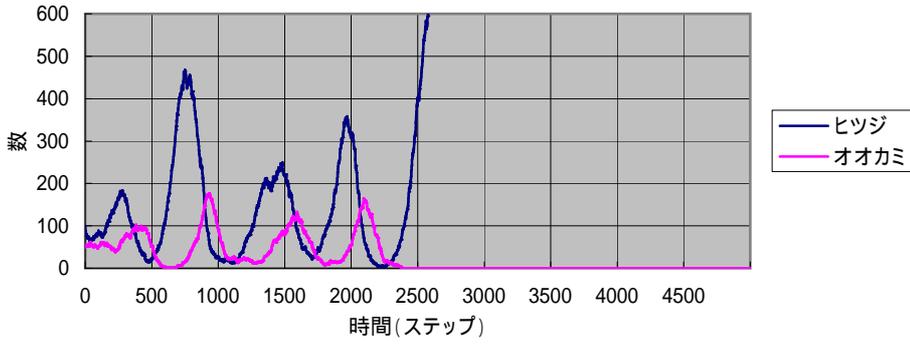


アイソクライン図

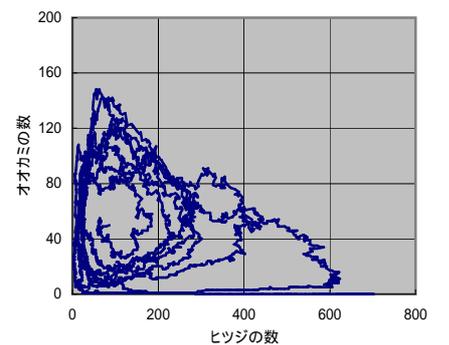
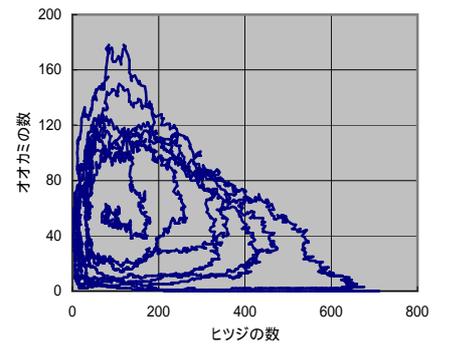
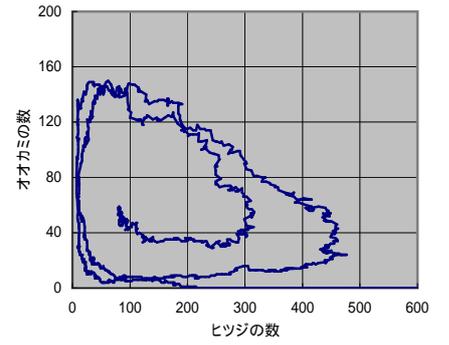
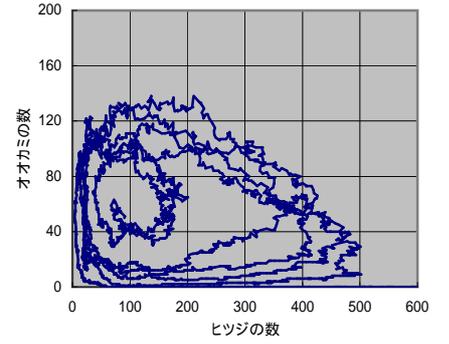
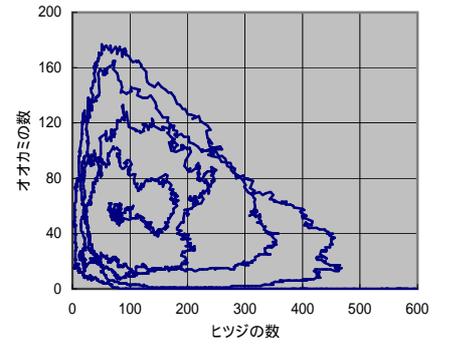


資料2: 草原サイズ40の実験結果2

頭数グラフ



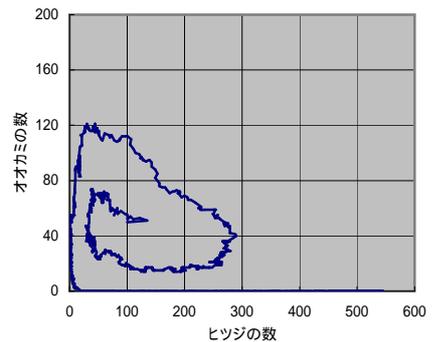
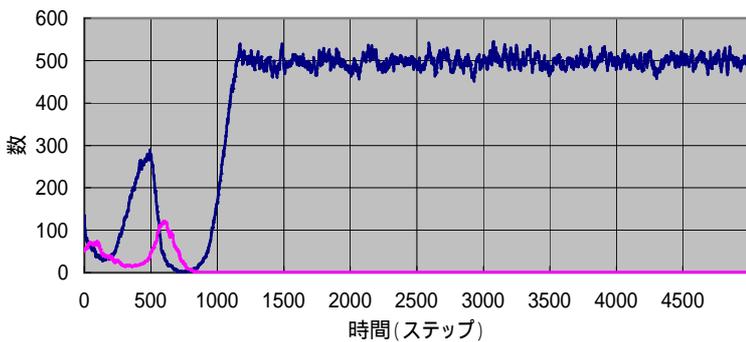
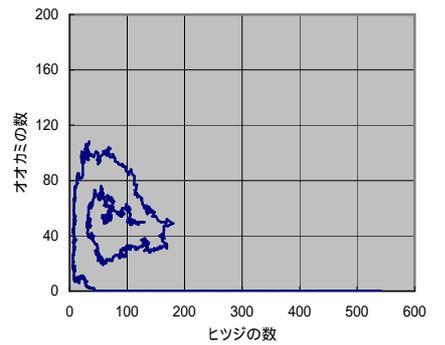
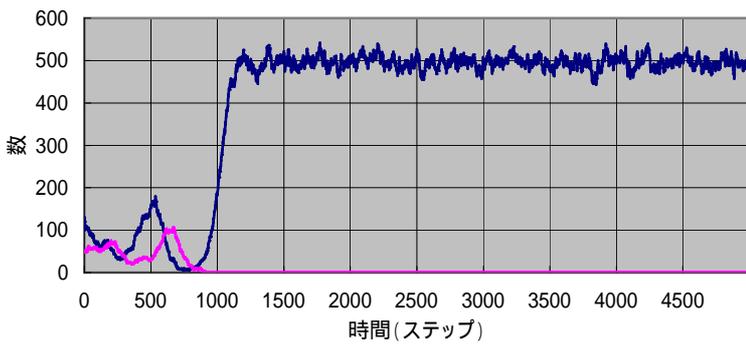
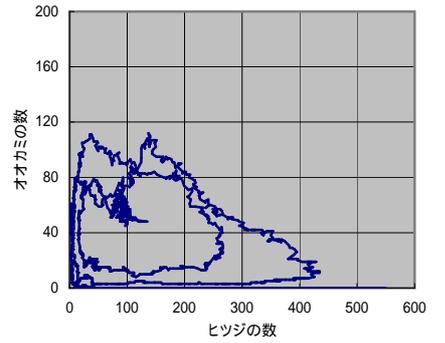
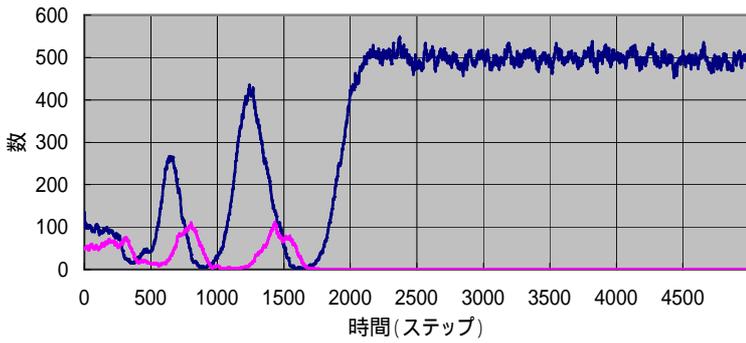
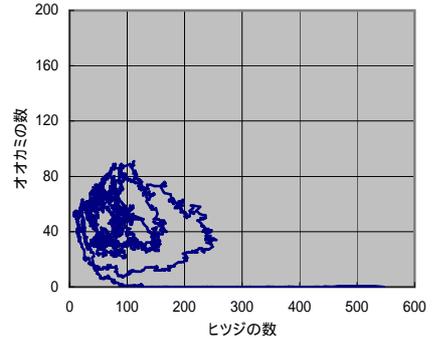
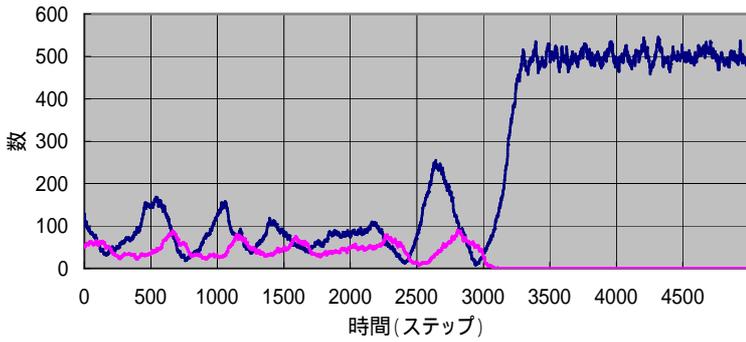
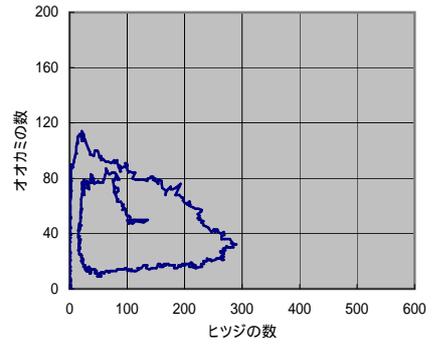
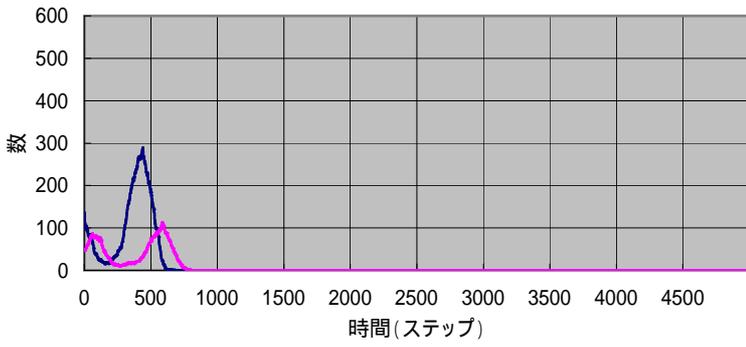
アイソクライン図



資料3: 草原サイズ30の実験結果

頭数グラフ

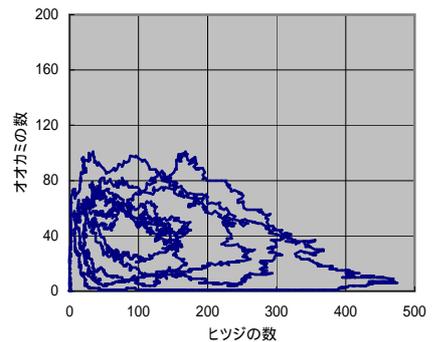
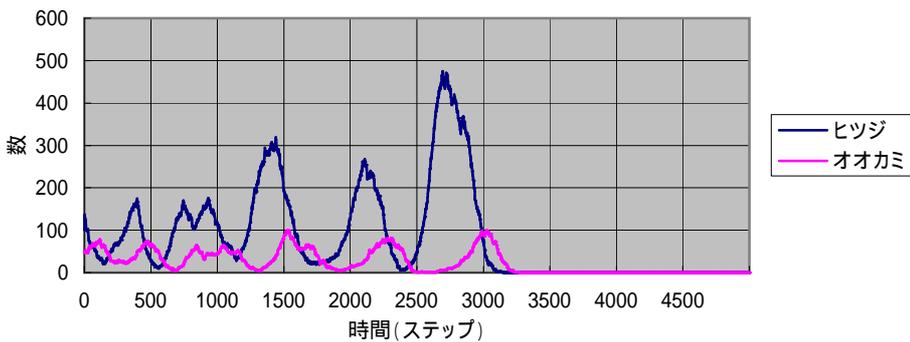
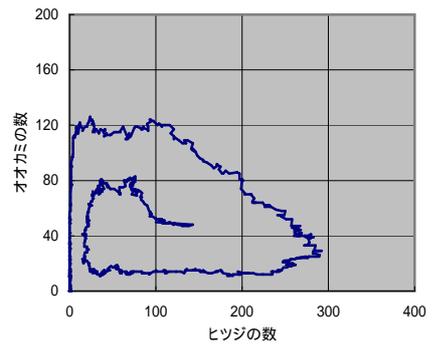
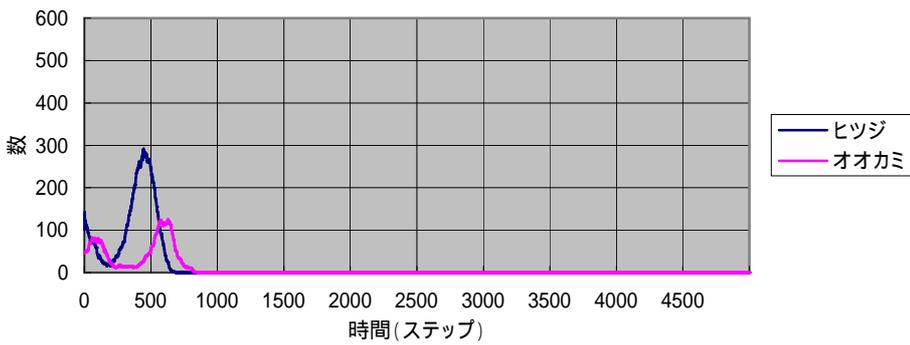
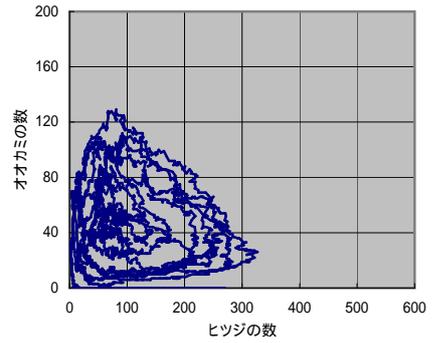
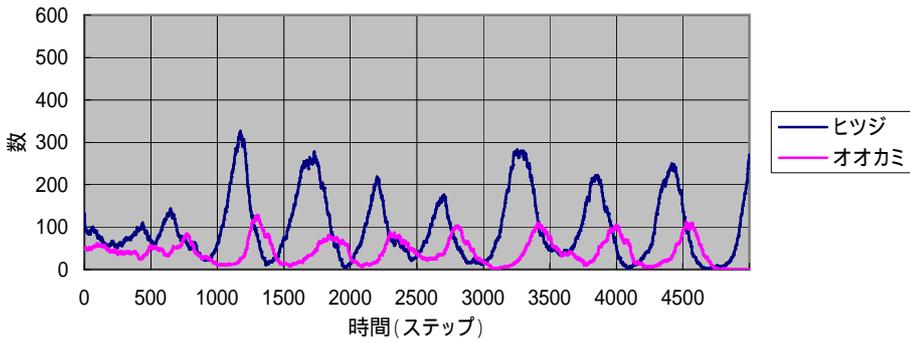
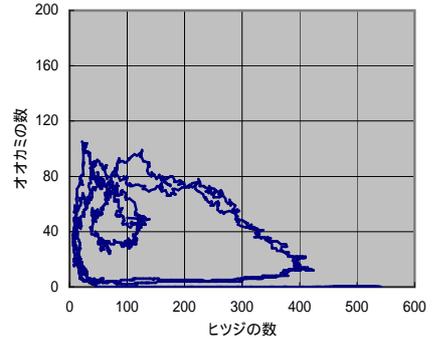
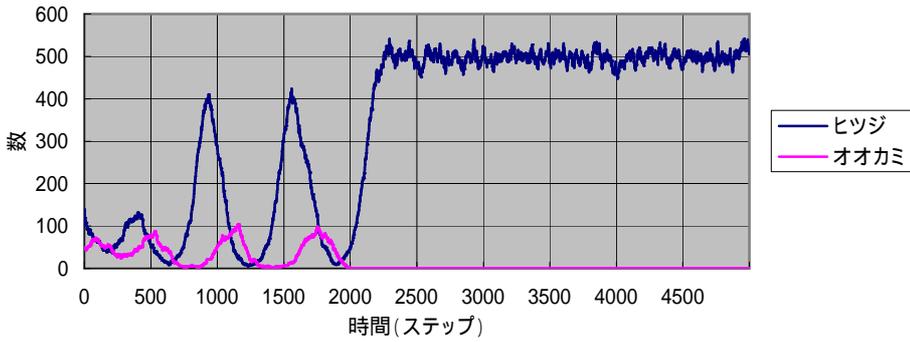
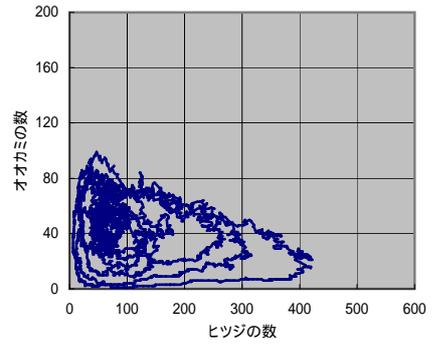
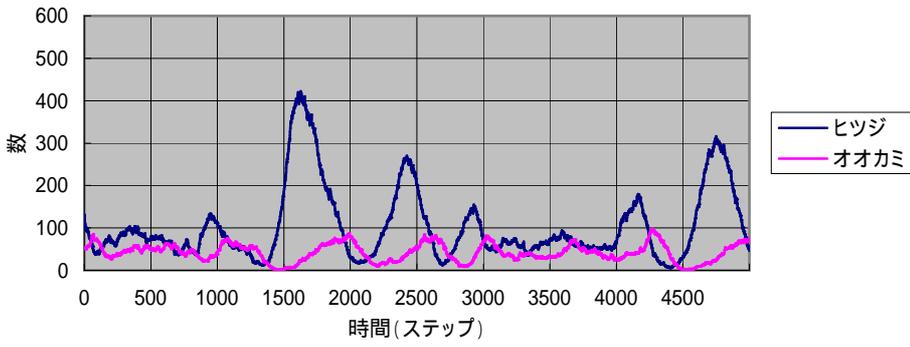
アイソクライン図



資料3: 草原サイズ30の実験結果2

頭数グラフ

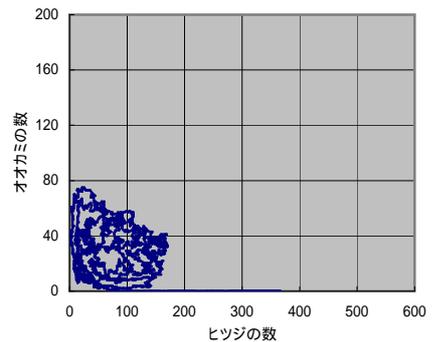
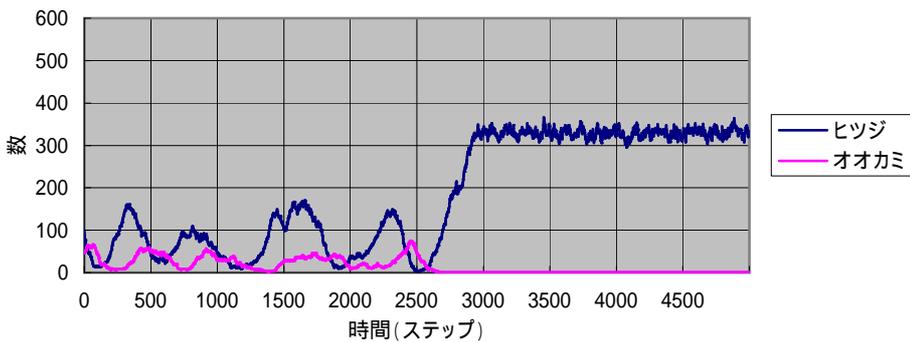
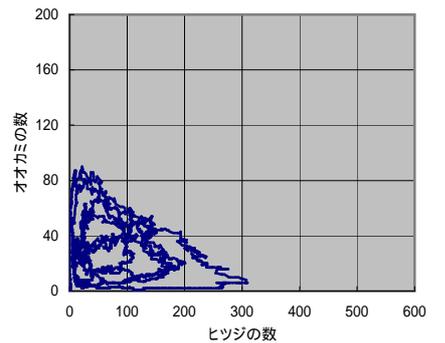
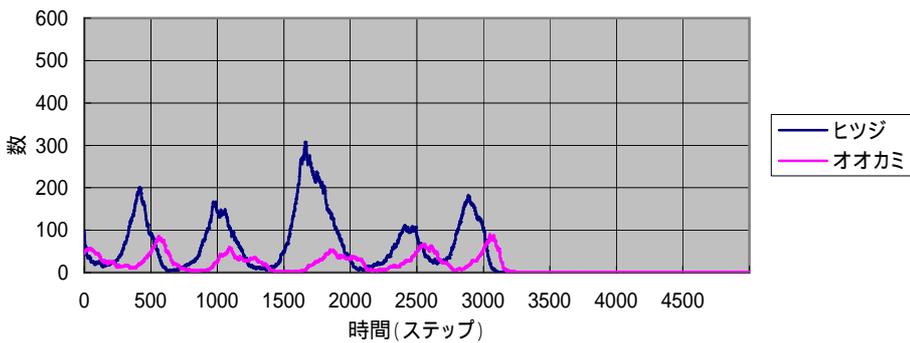
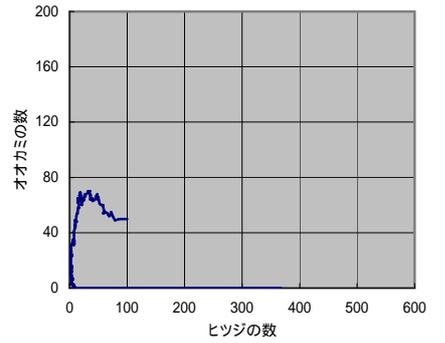
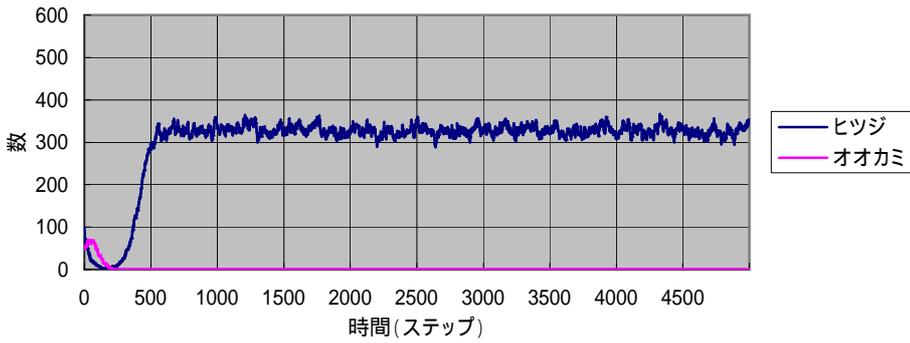
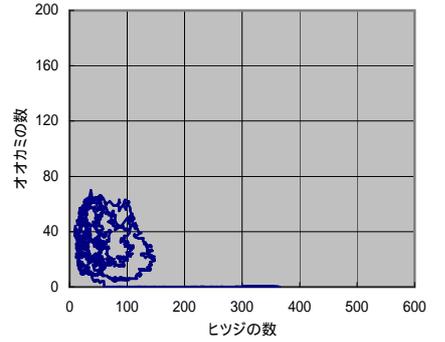
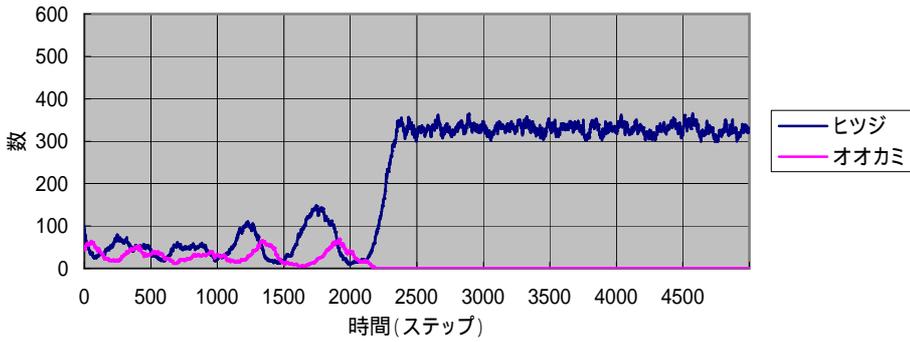
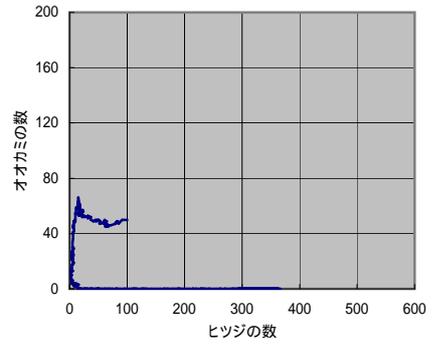
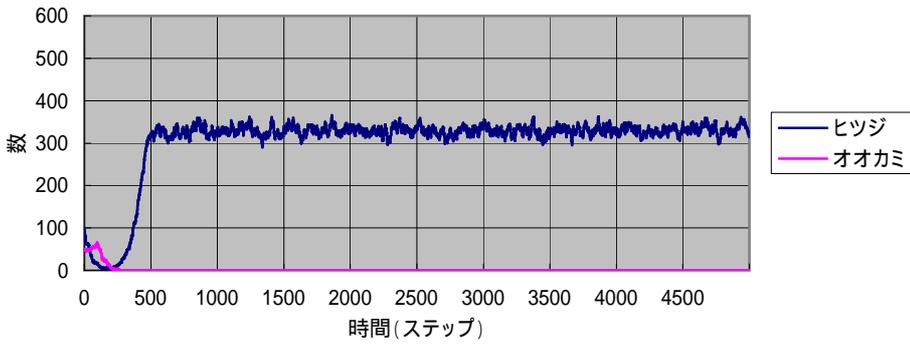
アイソライン図



資料4: 草原サイズ20の実験結果

頭数グラフ

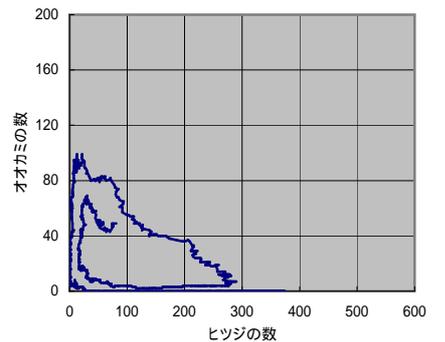
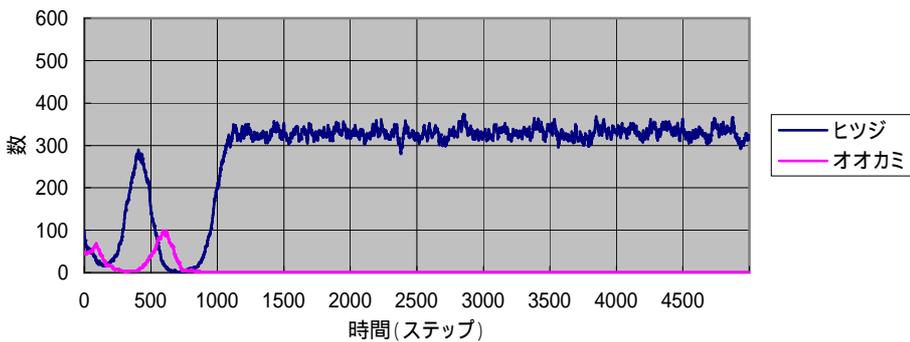
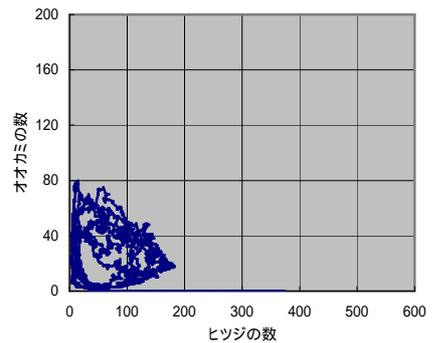
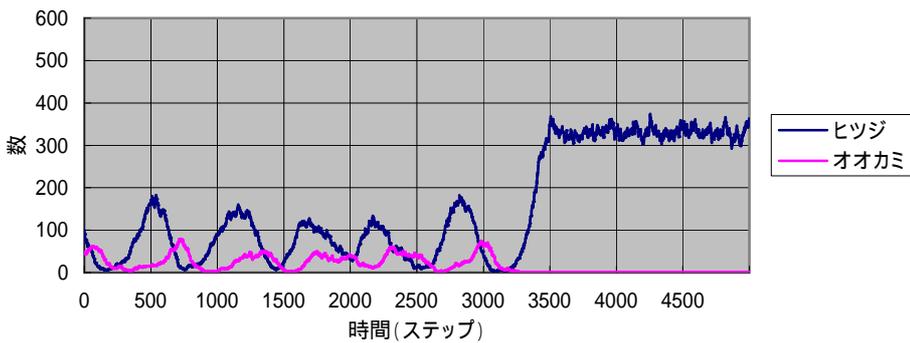
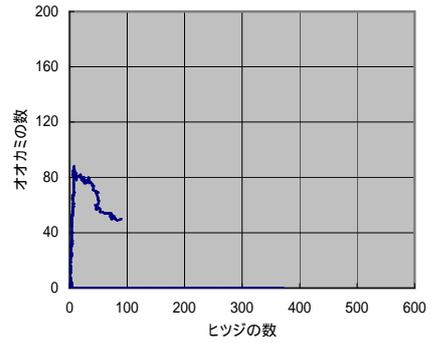
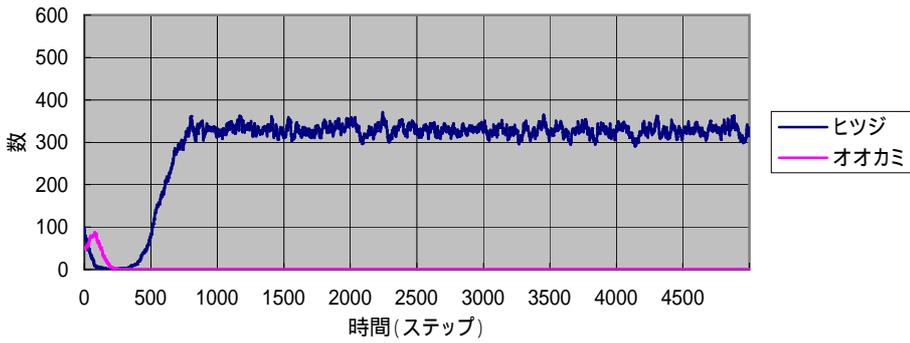
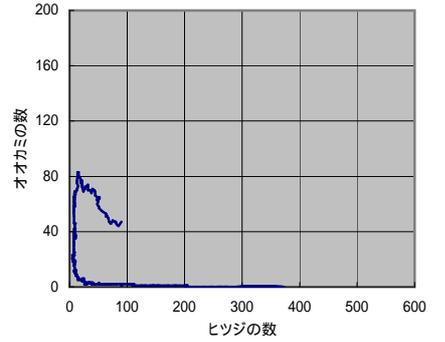
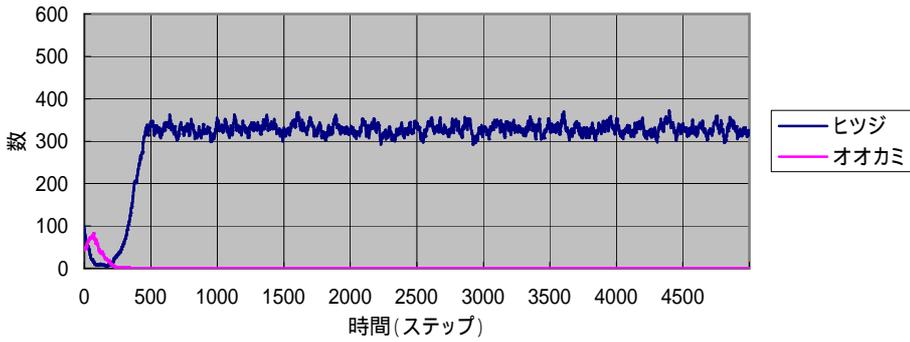
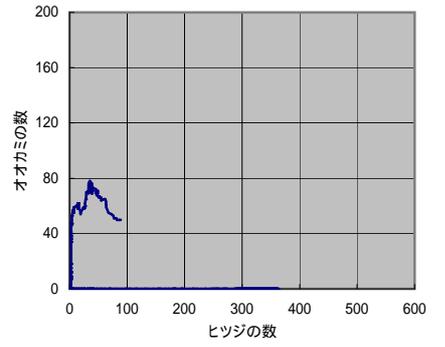
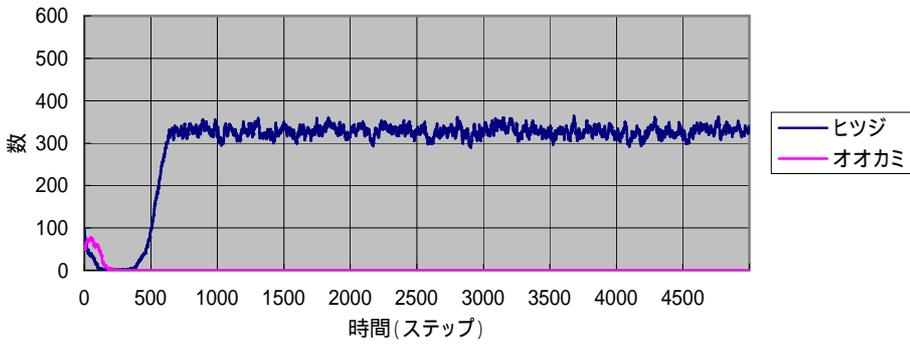
アイソライン図



資料4:草原サイズ20の実験結果2

頭数グラフ

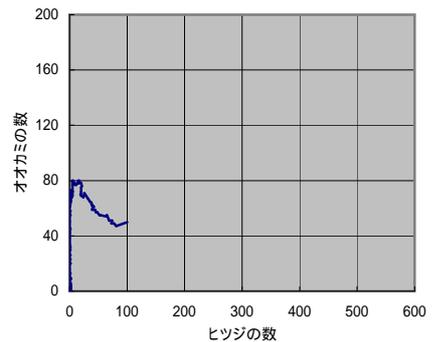
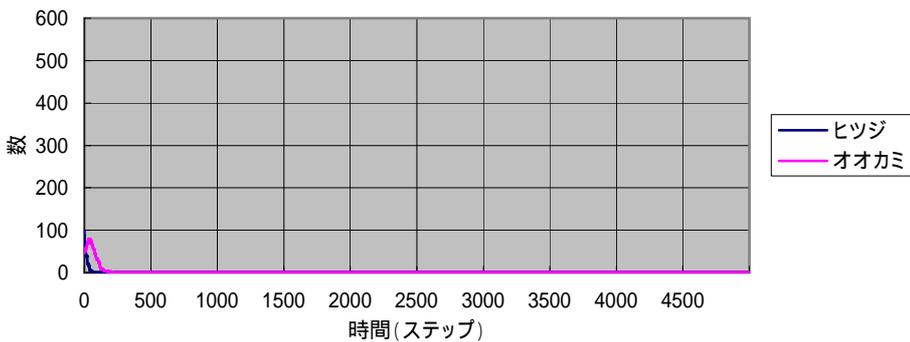
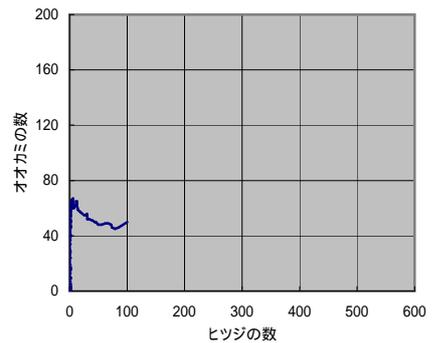
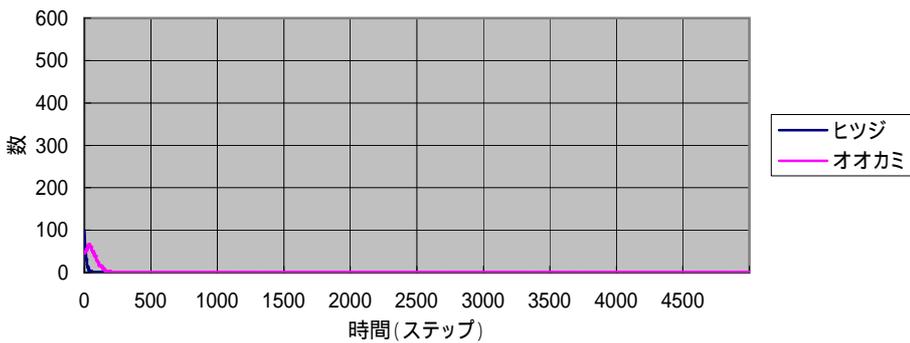
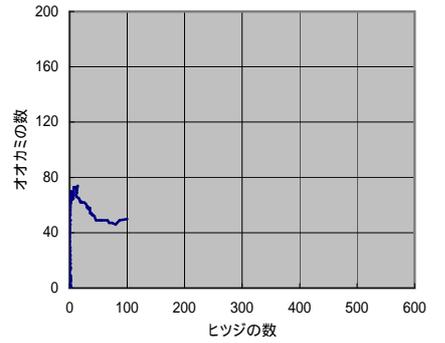
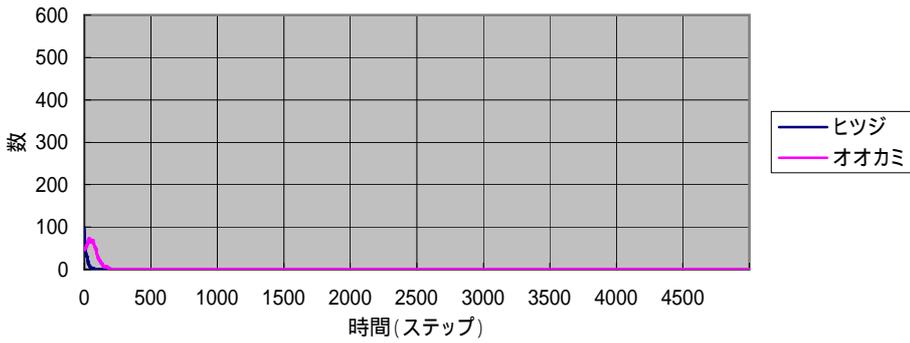
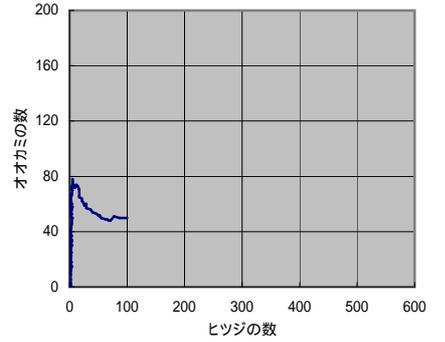
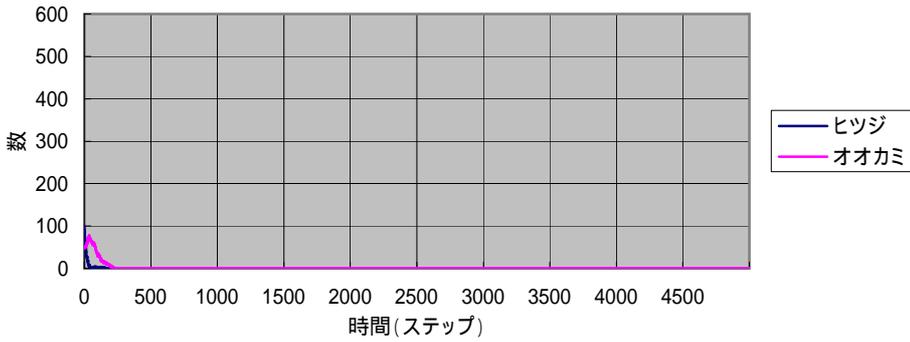
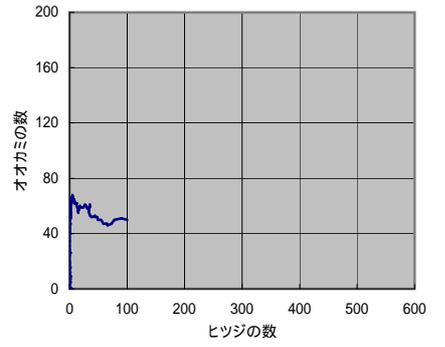
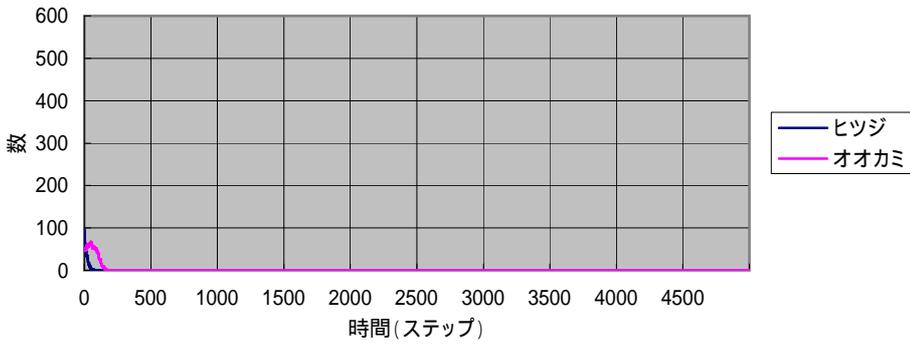
アイソライン図



資料5:草原サイズ10の実験結果

頭数グラフ

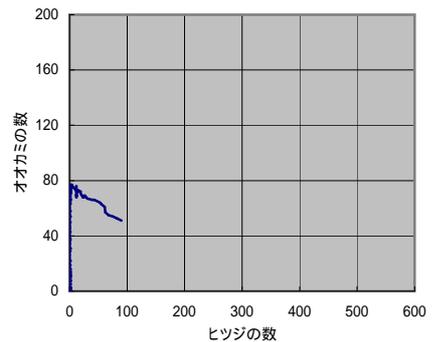
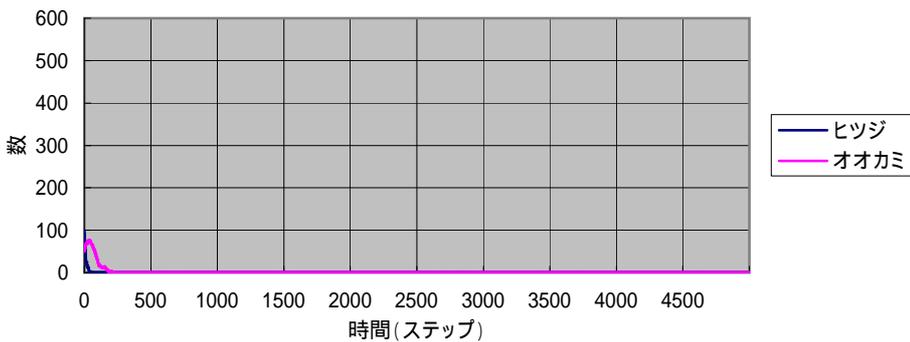
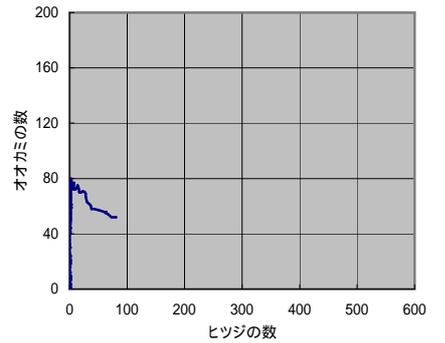
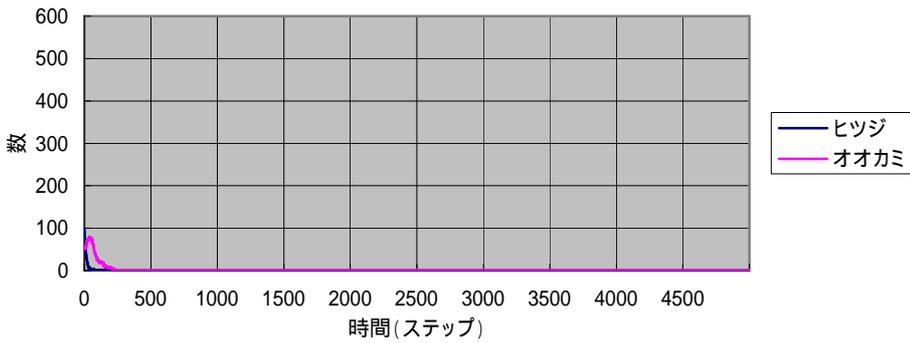
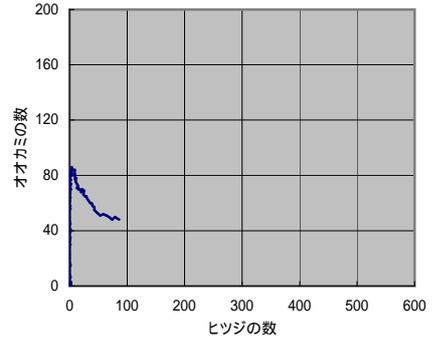
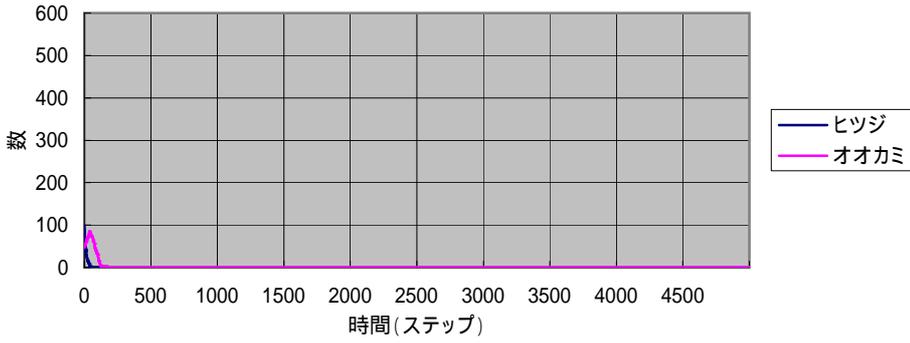
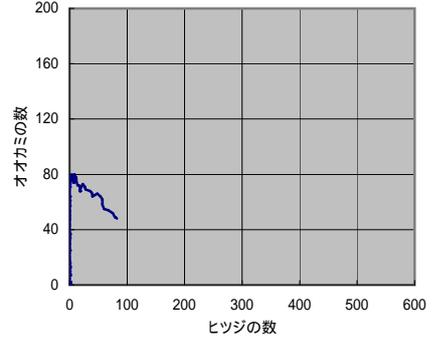
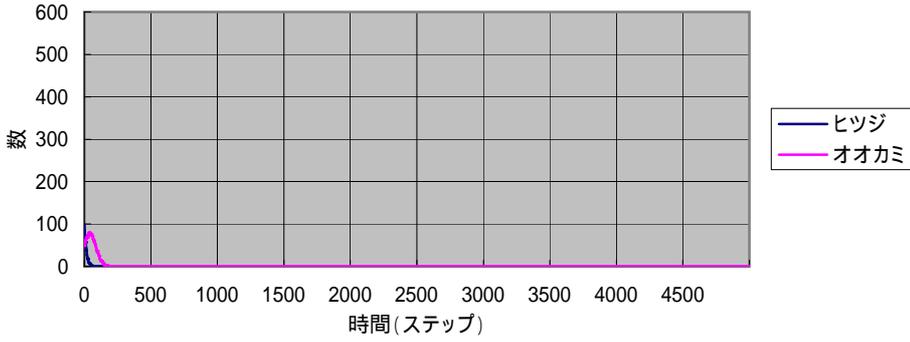
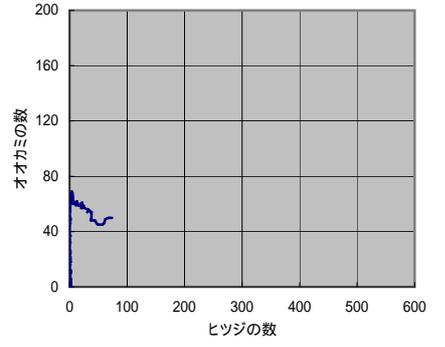
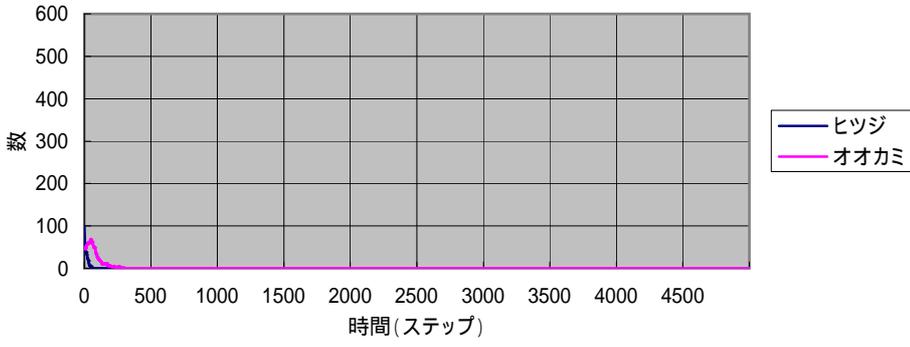
アイソライン図



資料5:草原サイズ10の実験結果2

頭数グラフ

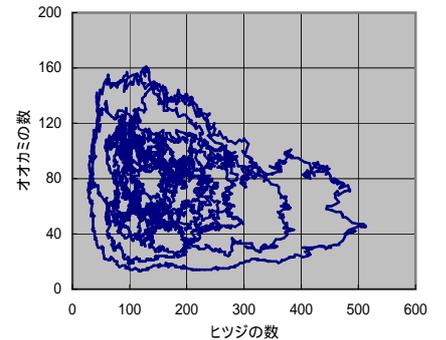
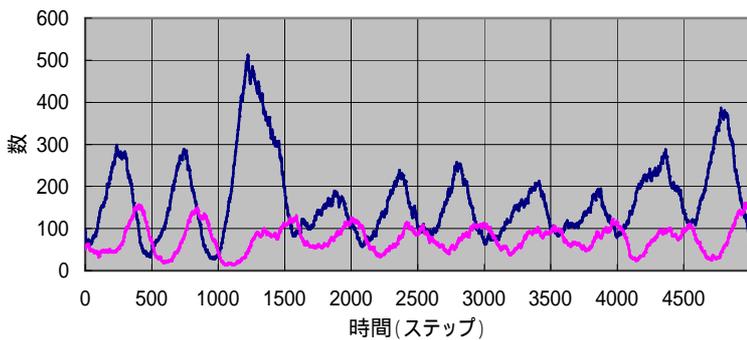
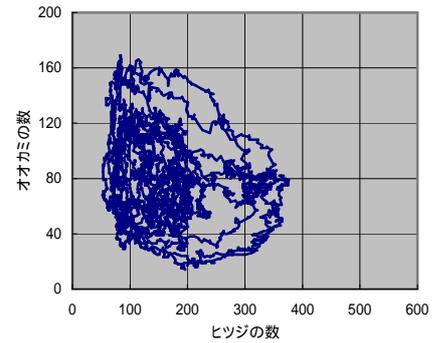
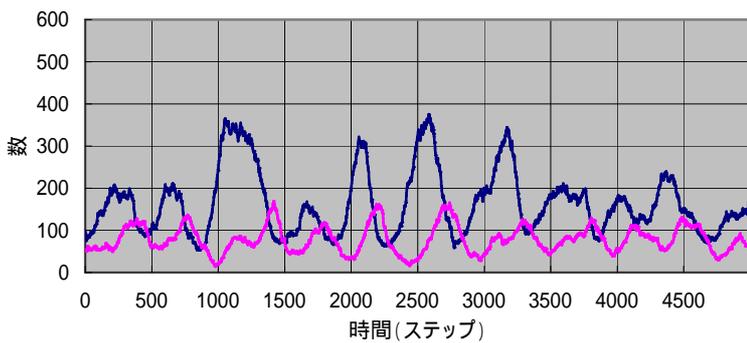
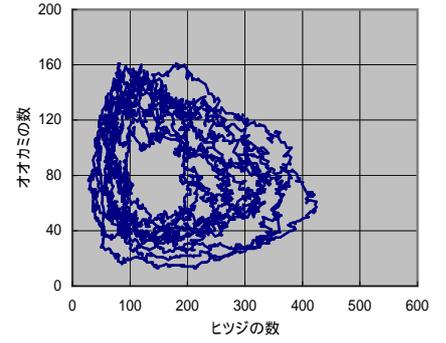
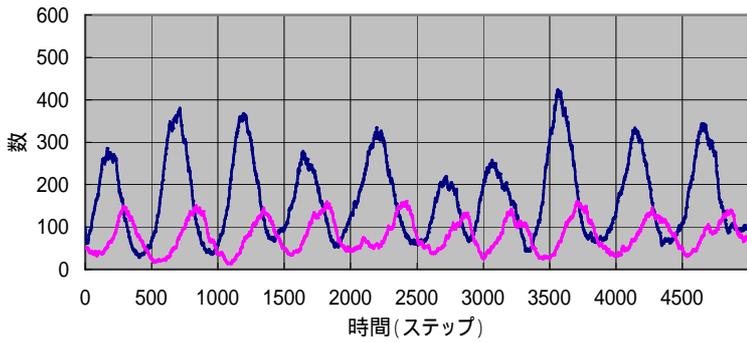
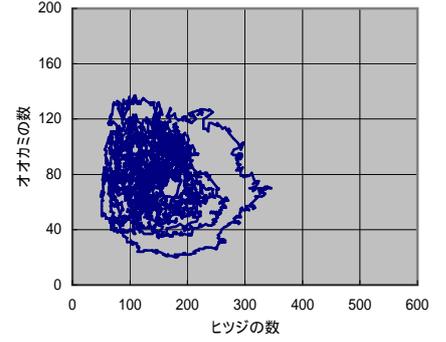
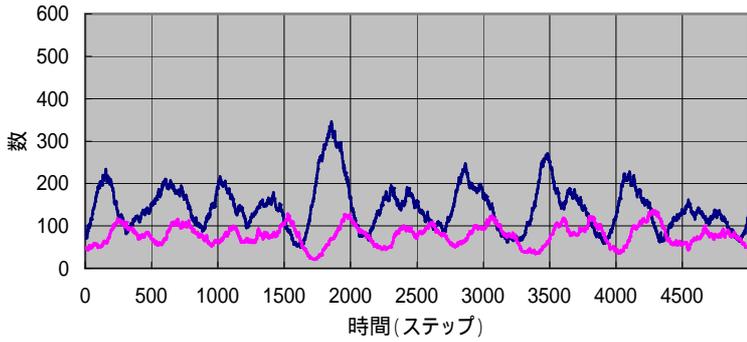
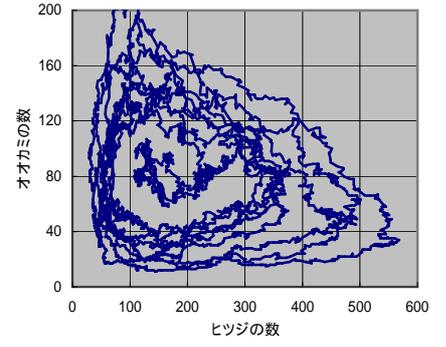
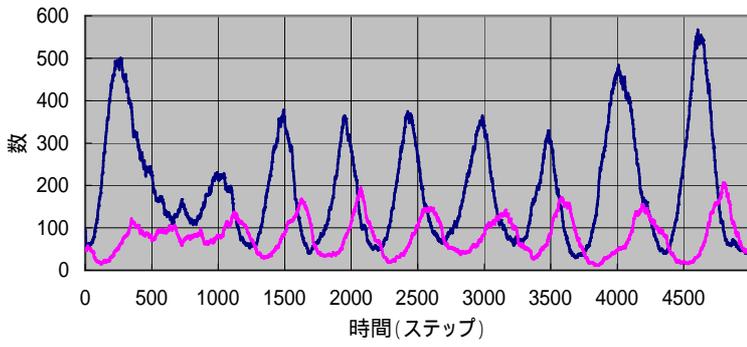
アイソライン図



資料6: 草原サイズ50 (保護エリアあり) の実験結果

頭数グラフ

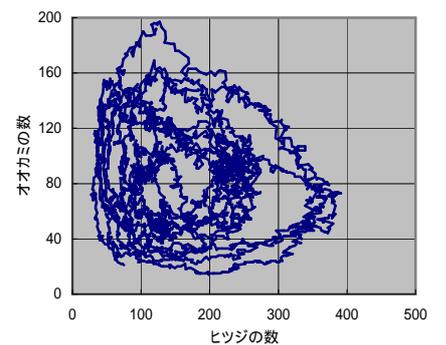
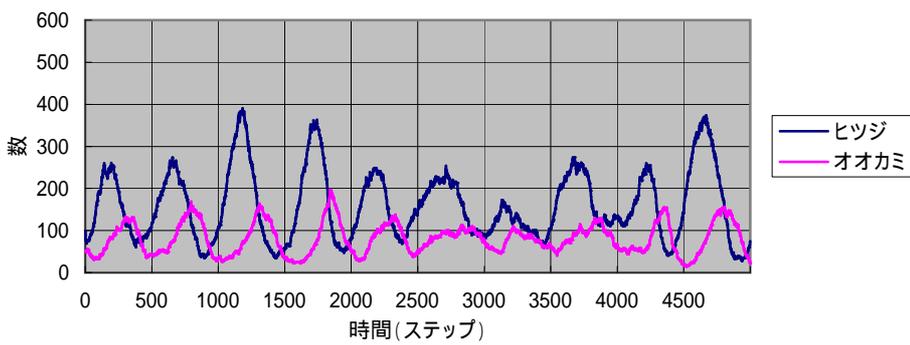
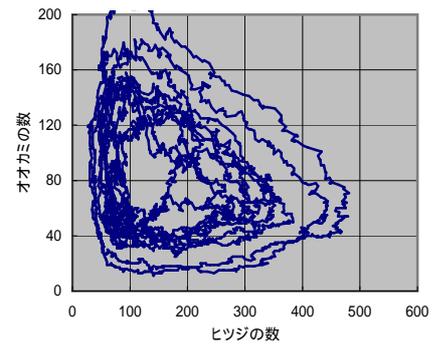
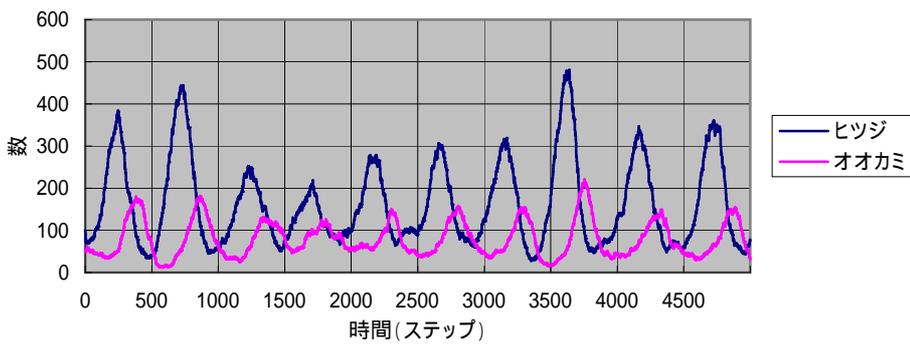
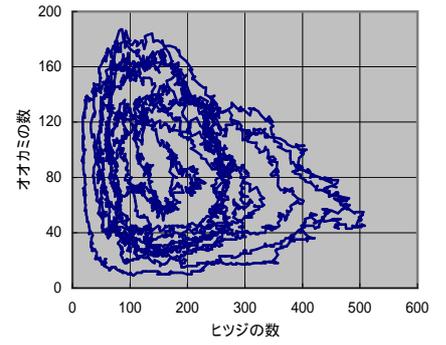
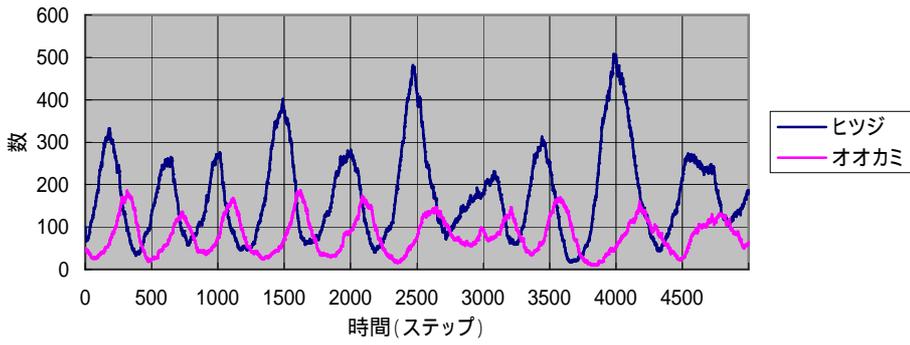
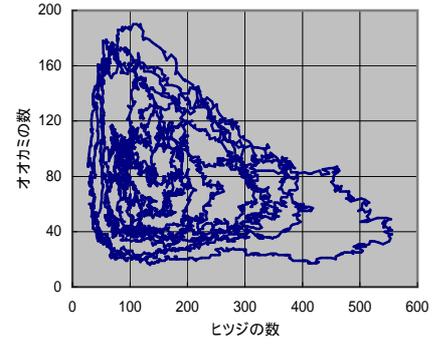
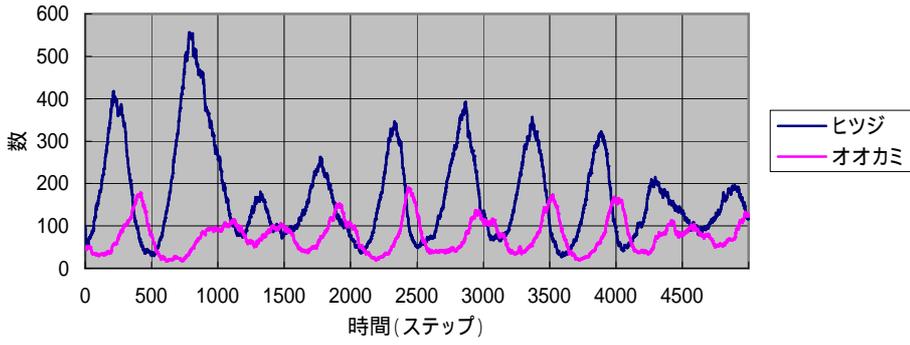
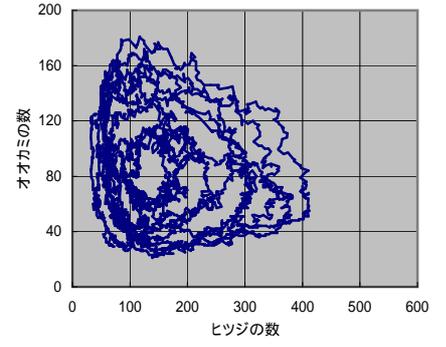
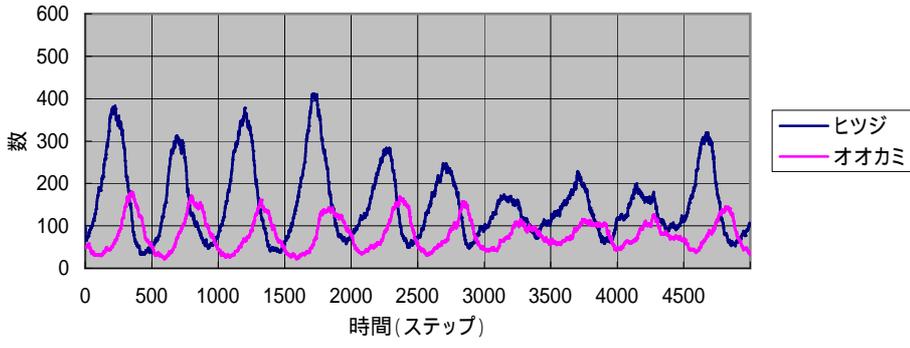
アイソクライン図



資料6: 草原サイズ50 (保護エリアあり) の実験結果2

頭数グラフ

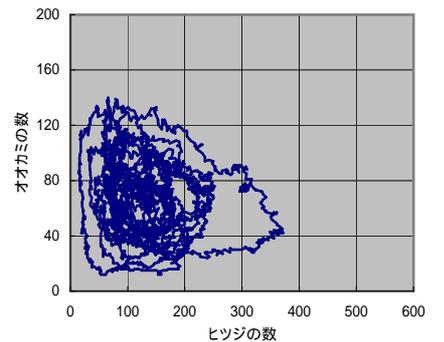
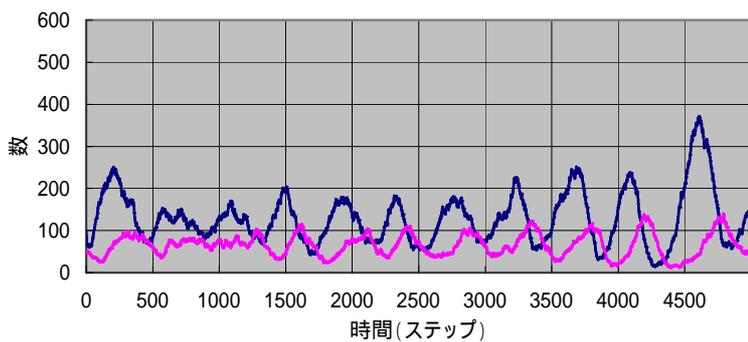
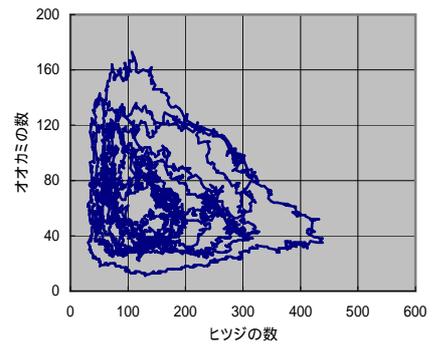
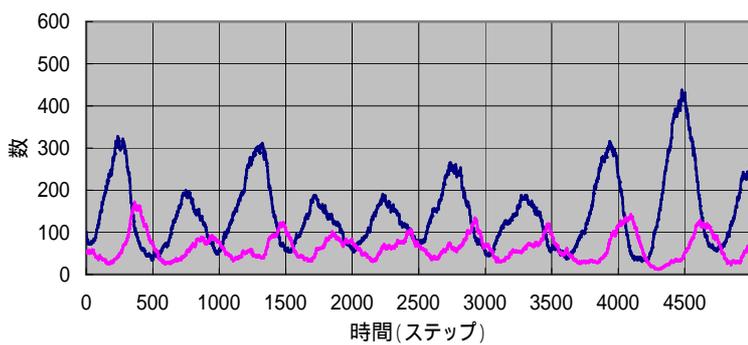
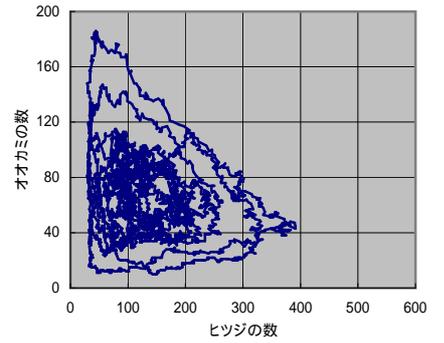
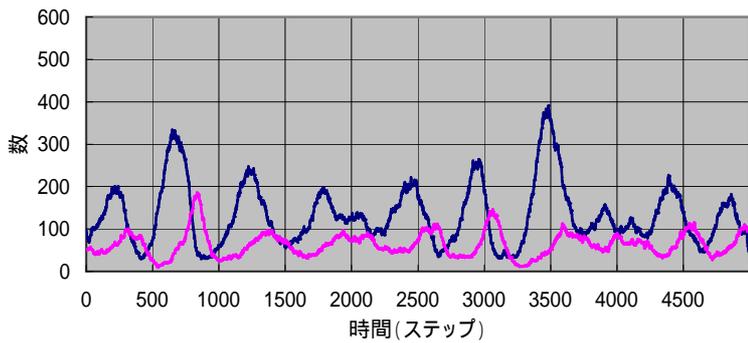
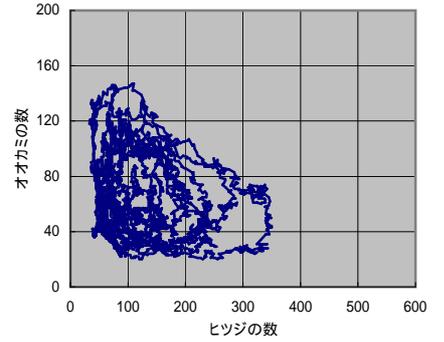
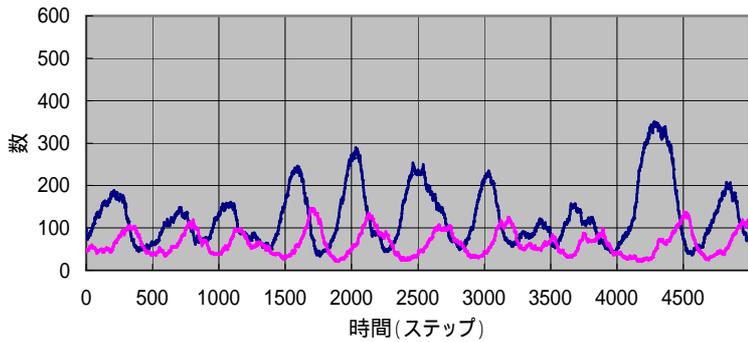
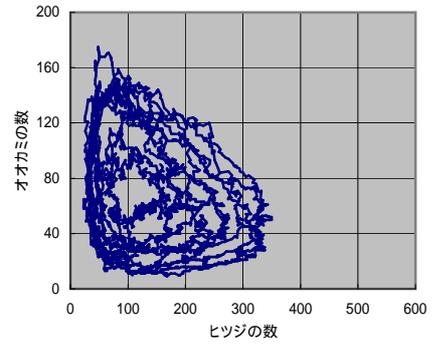
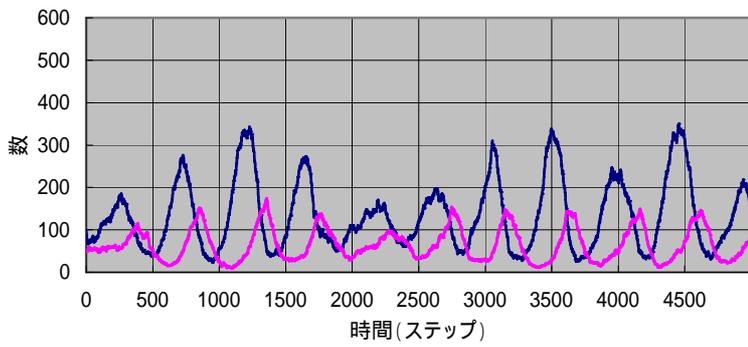
アイソクライン図



資料7: 草原サイズ40 (保護エリアあり) の実験結果

頭数グラフ

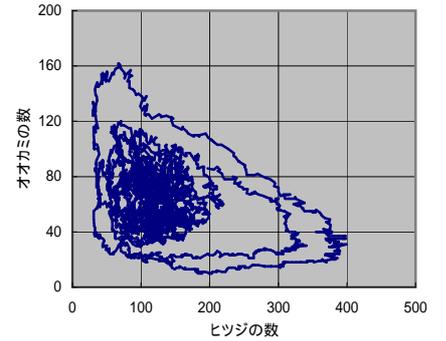
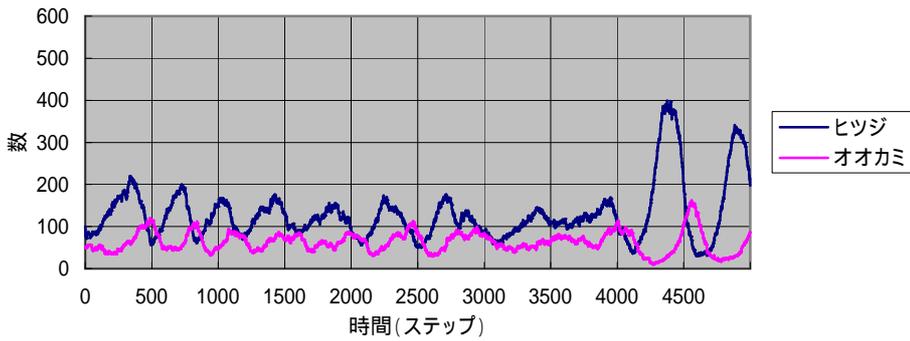
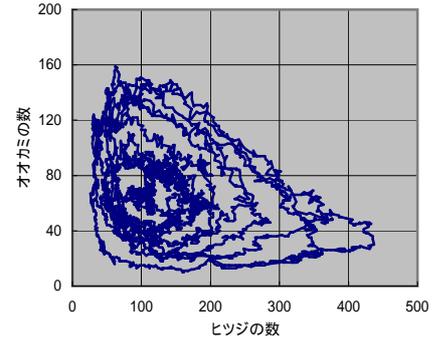
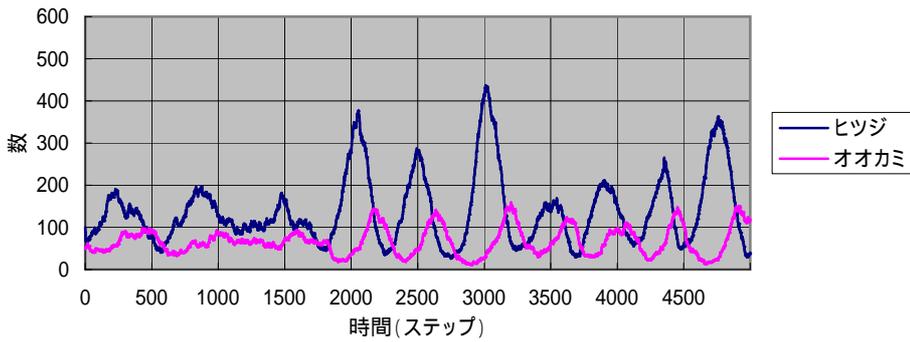
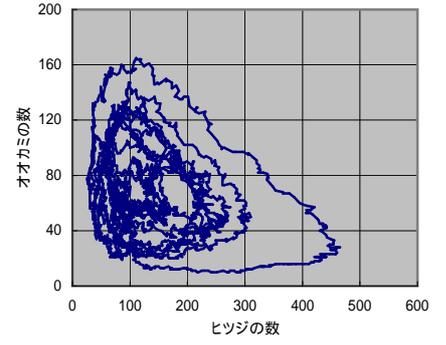
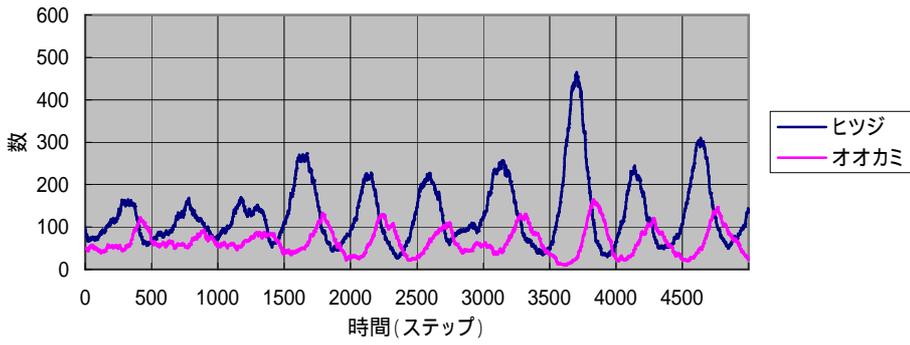
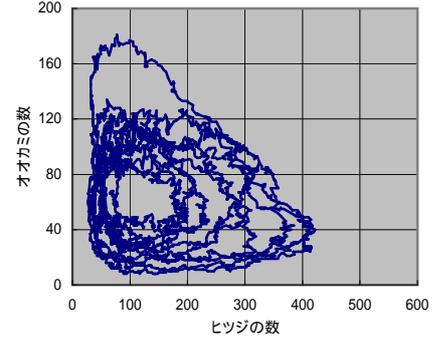
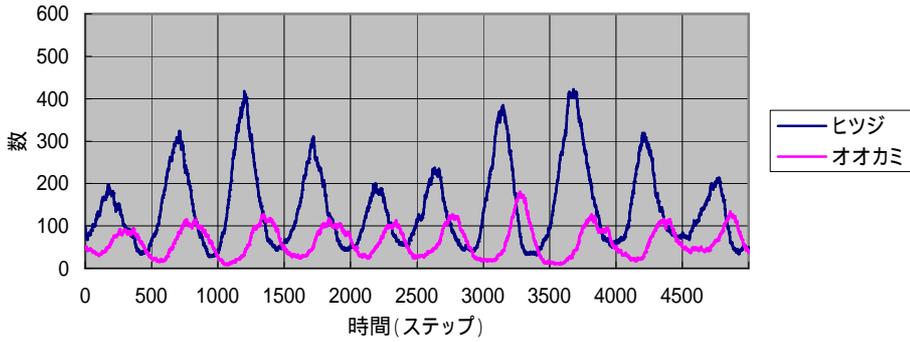
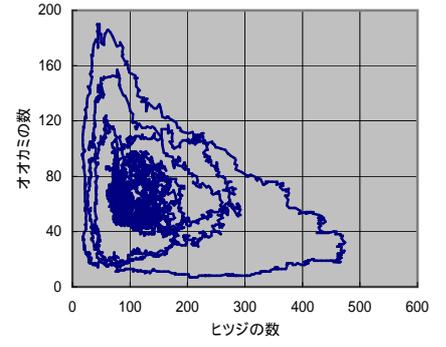
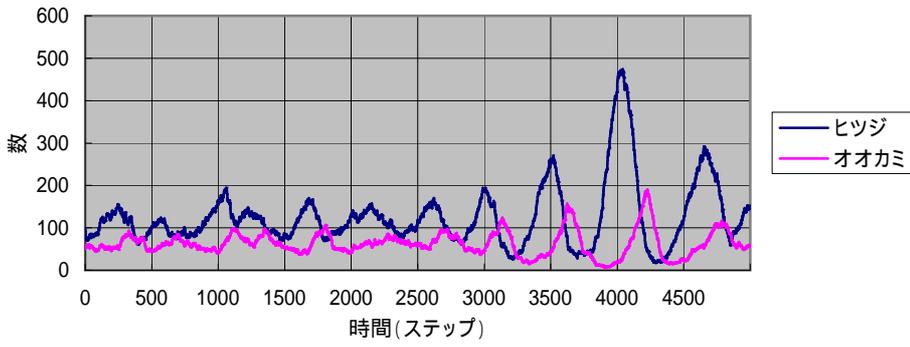
アイソクライン図



資料7: 草原サイズ40 (保護エリアあり) の実験結果2

頭数グラフ

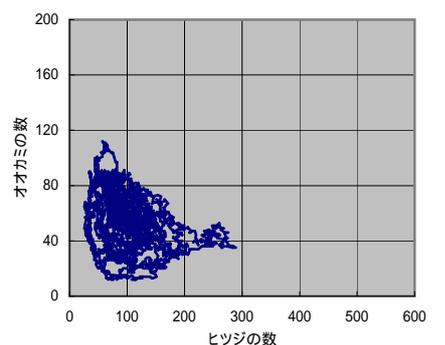
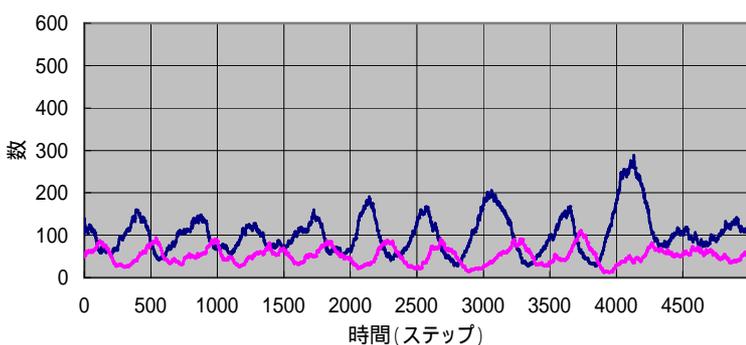
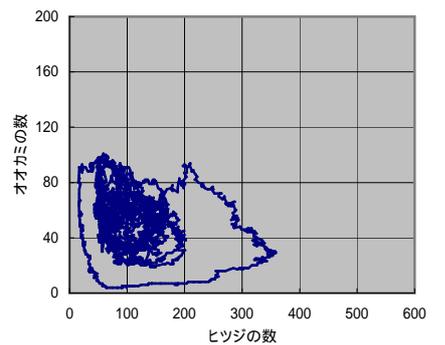
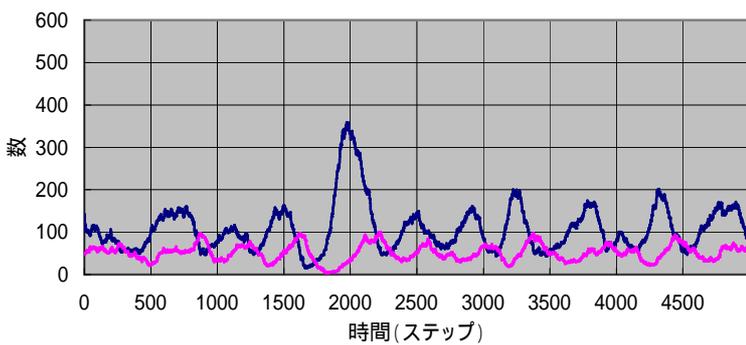
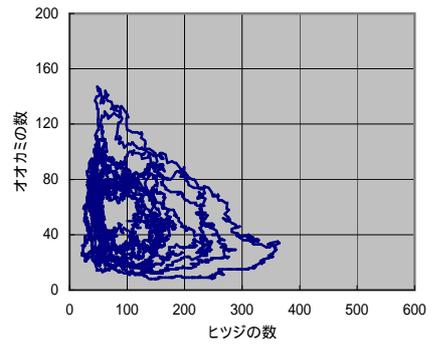
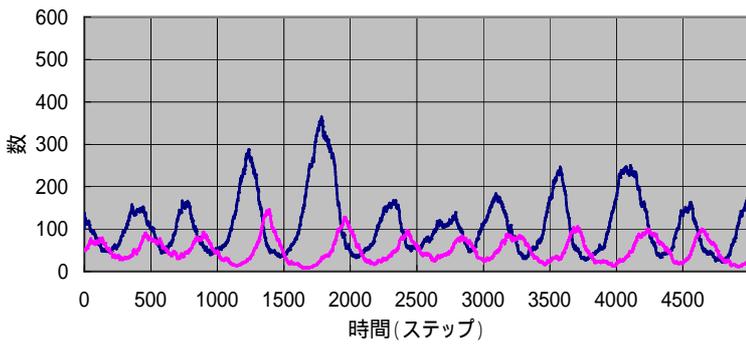
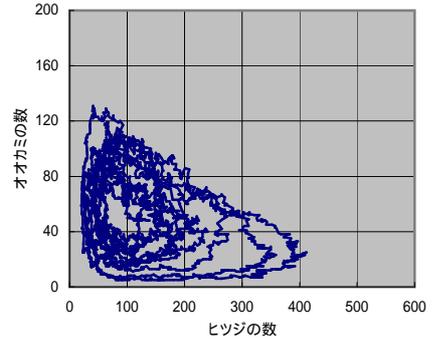
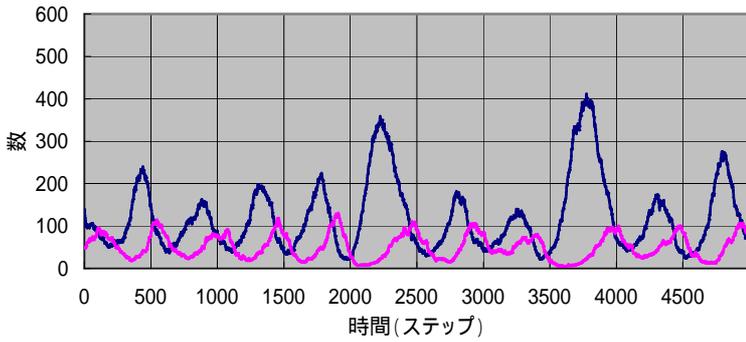
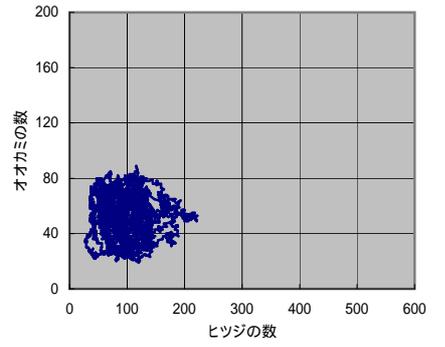
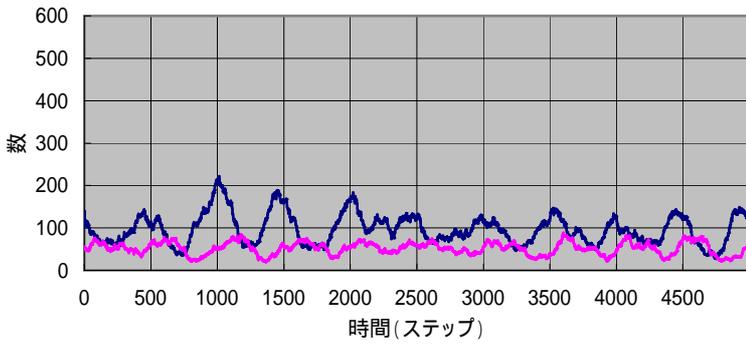
アイソクライン図



資料8: 草原サイズ30 (保護エリアあり) の実験結果

頭数グラフ

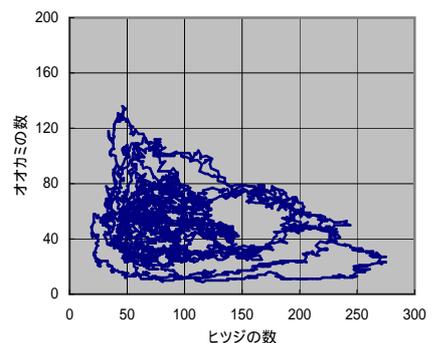
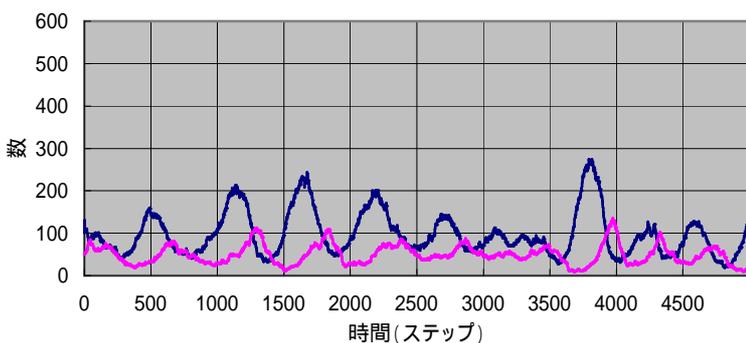
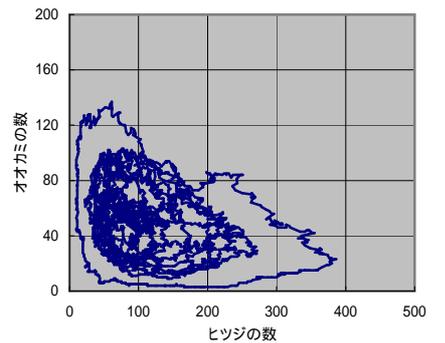
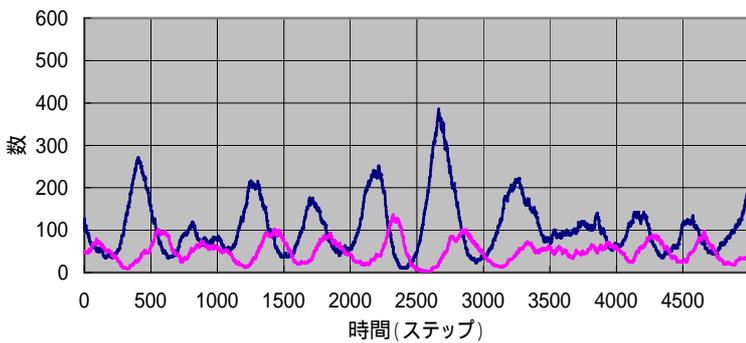
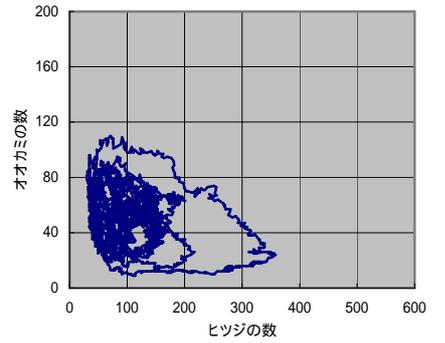
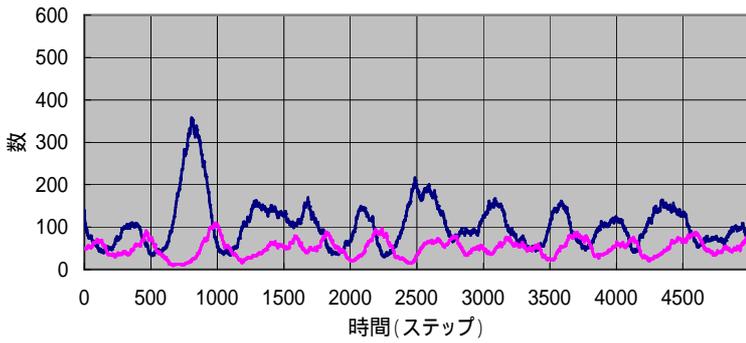
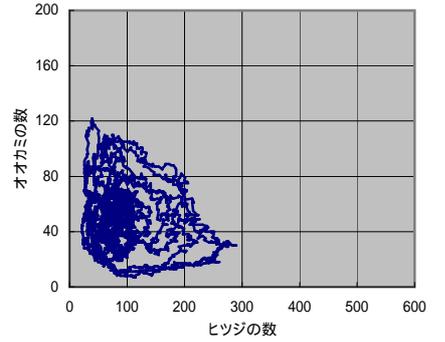
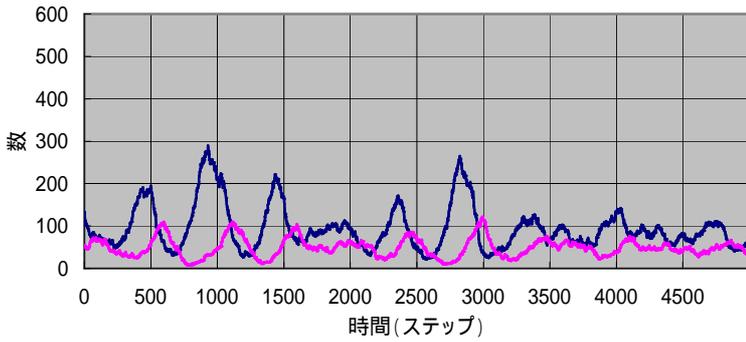
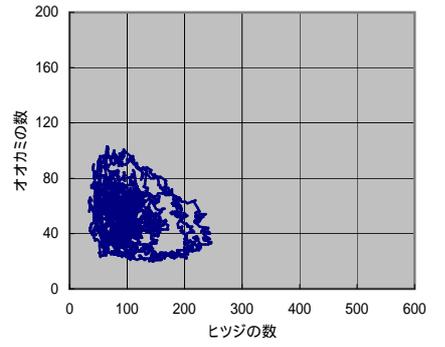
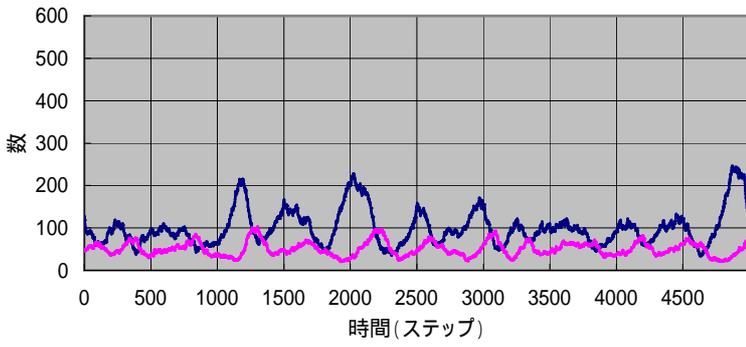
アイソクライン図



資料8: 草原サイズ30 (保護エリアあり) の実験結果2

頭数グラフ

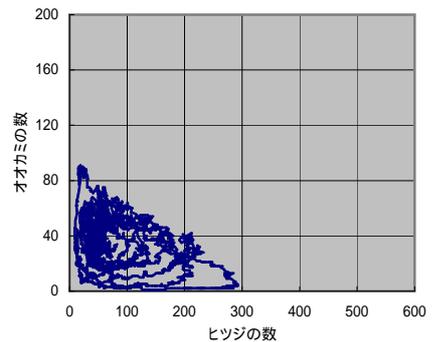
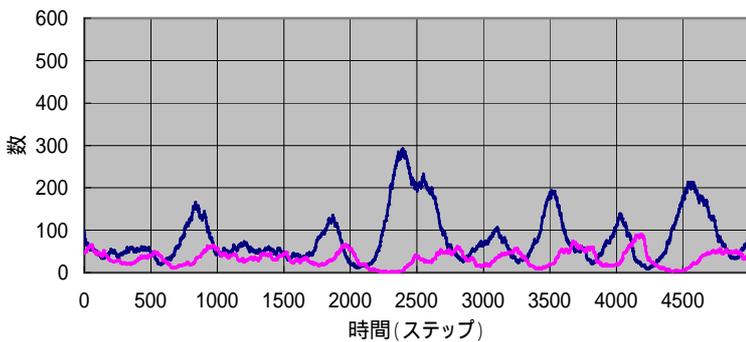
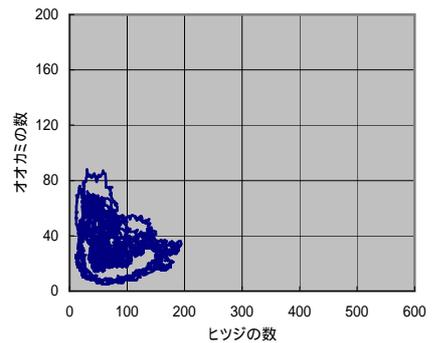
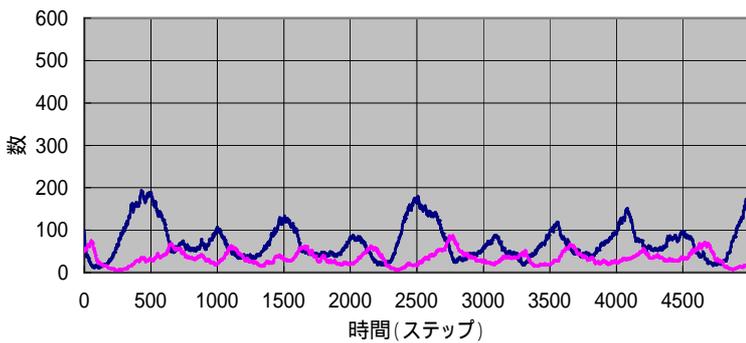
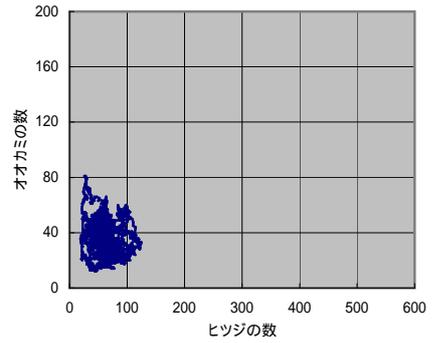
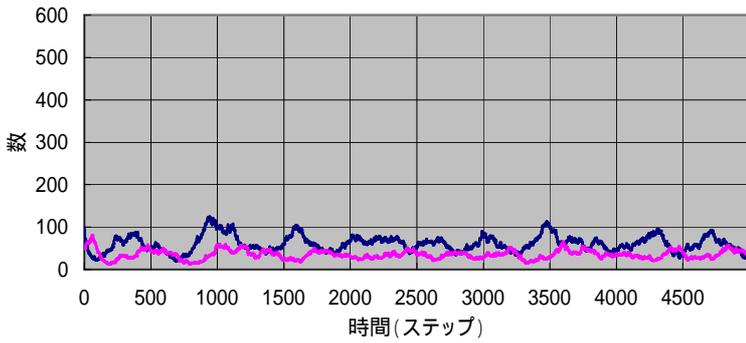
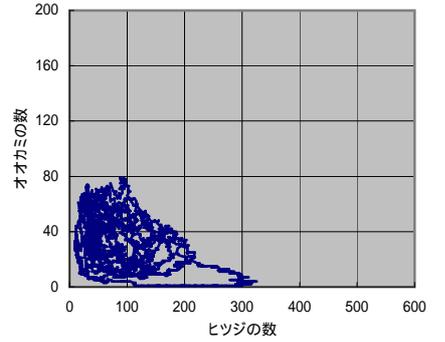
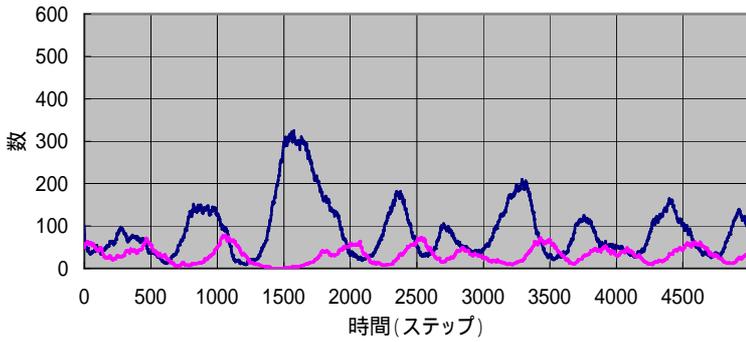
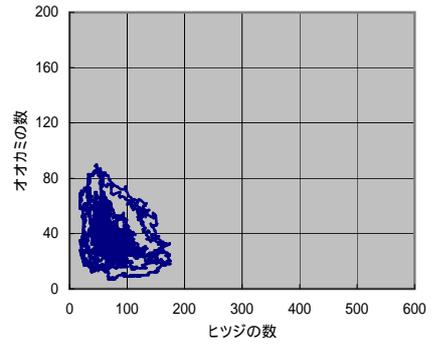
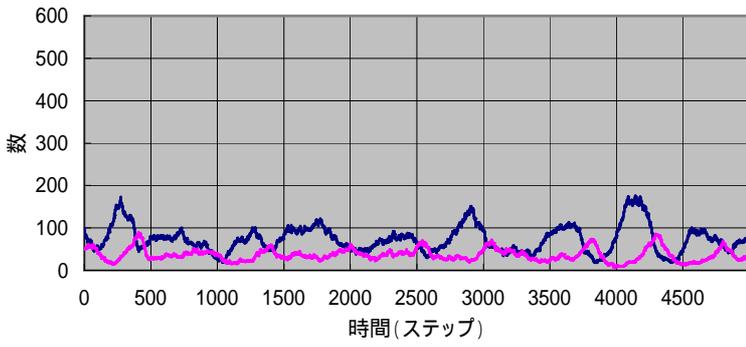
アイソライン図



資料9: 草原サイズ20 (保護エリアあり) の実験結果

頭数グラフ

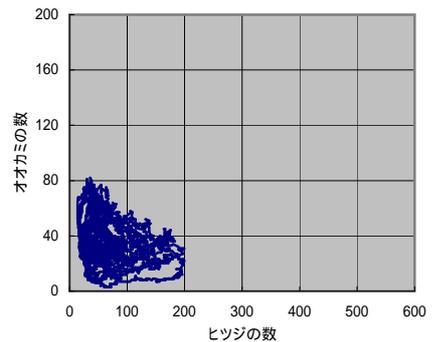
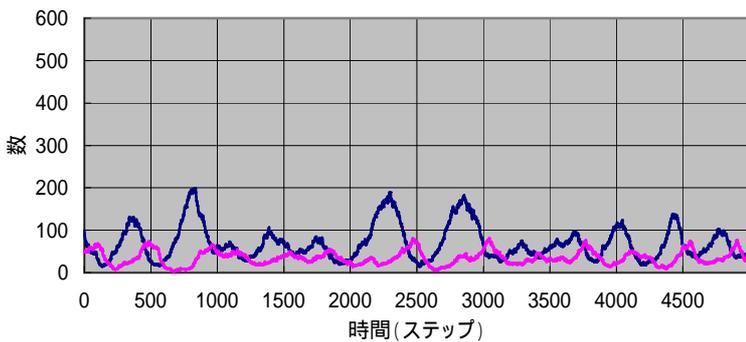
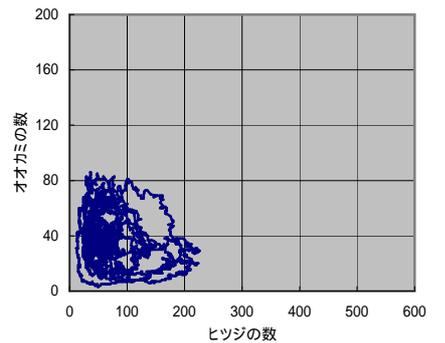
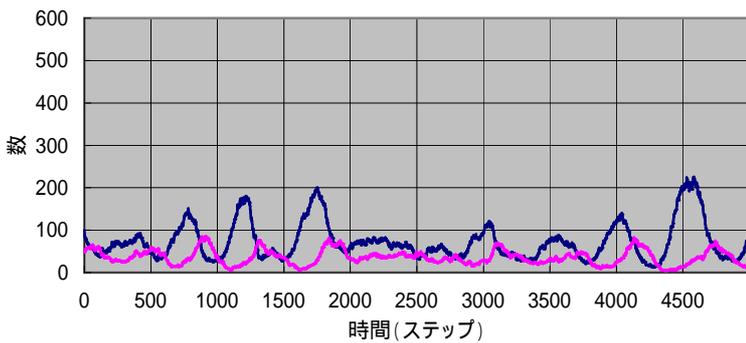
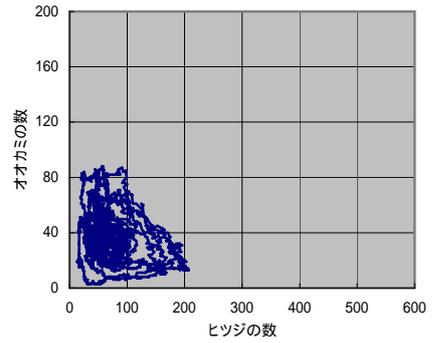
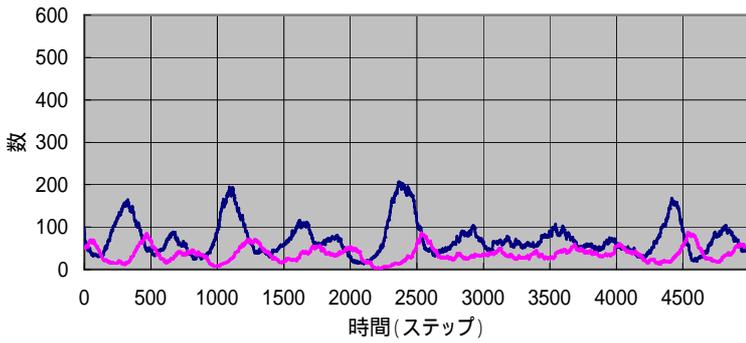
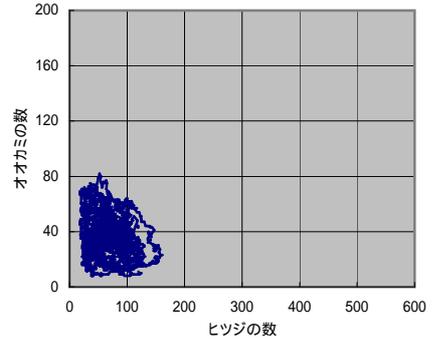
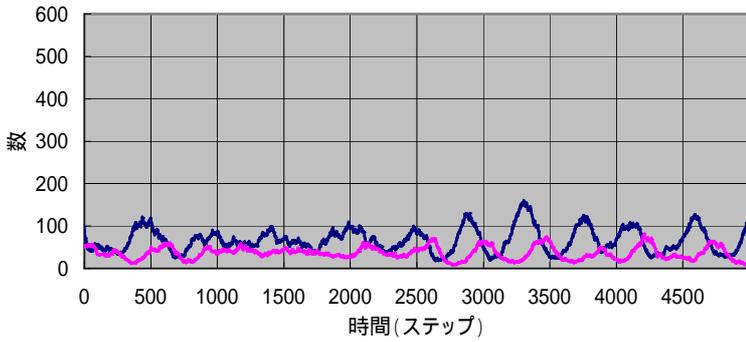
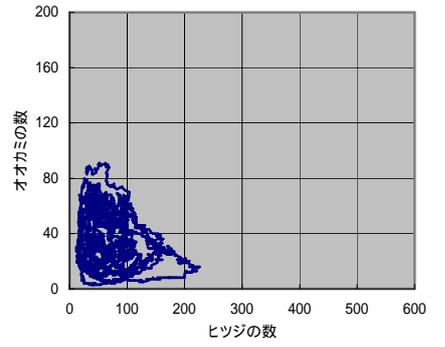
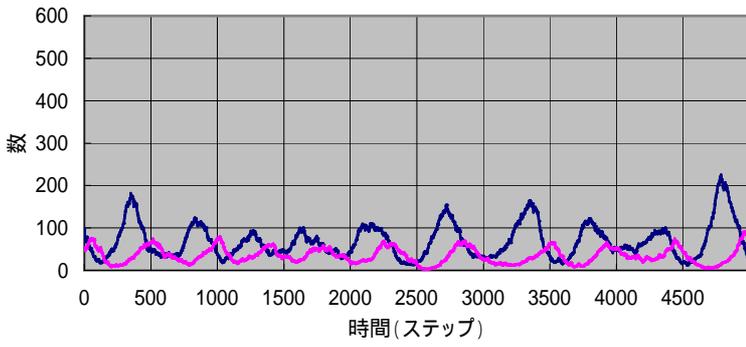
アイソライン図



資料9:草原サイズ20(保護エリアあり)の実験結果2

頭数グラフ

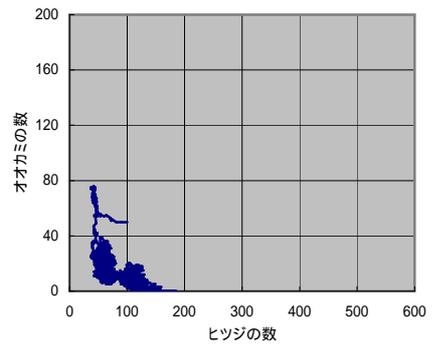
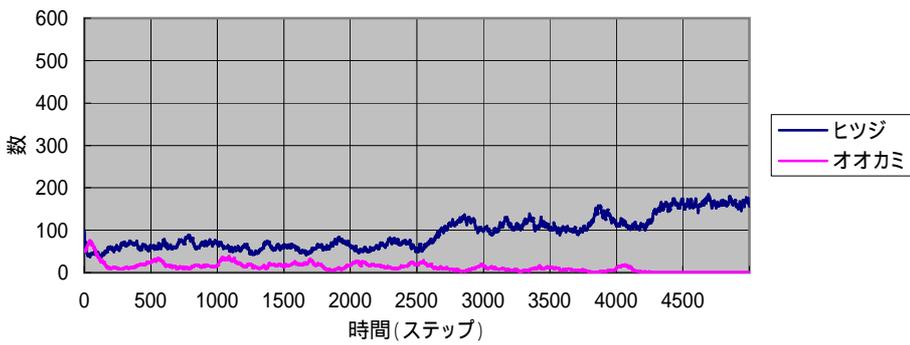
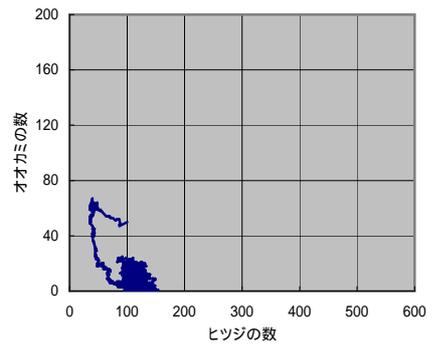
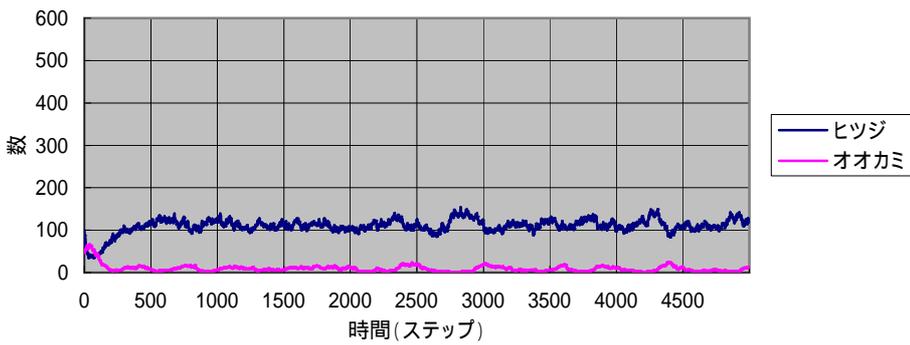
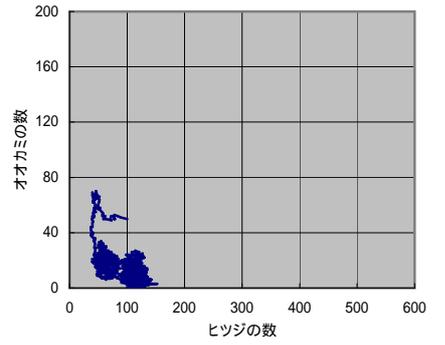
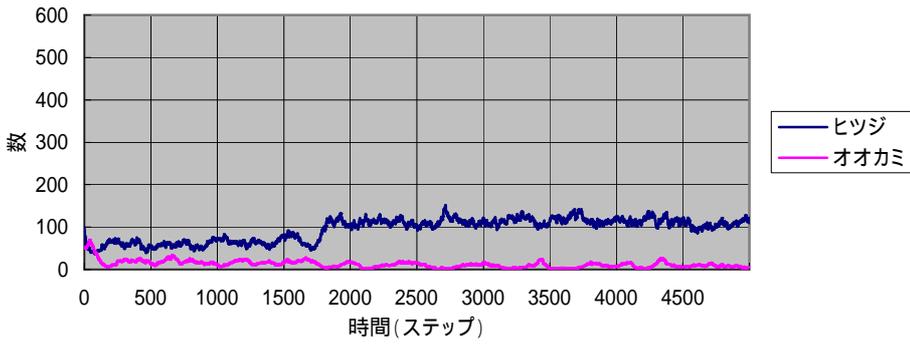
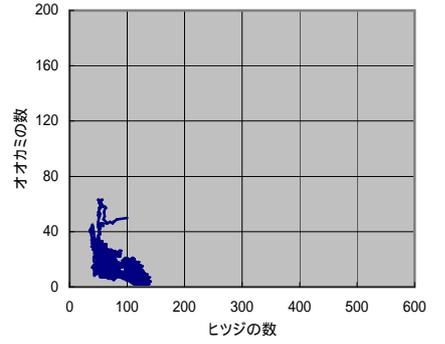
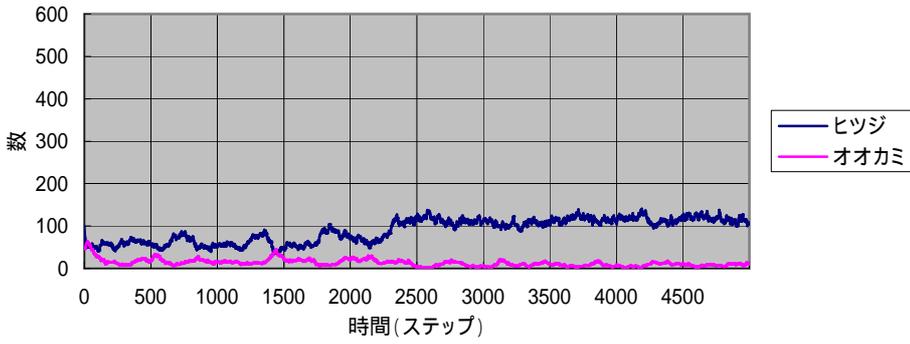
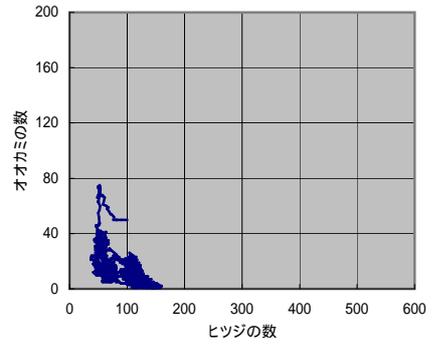
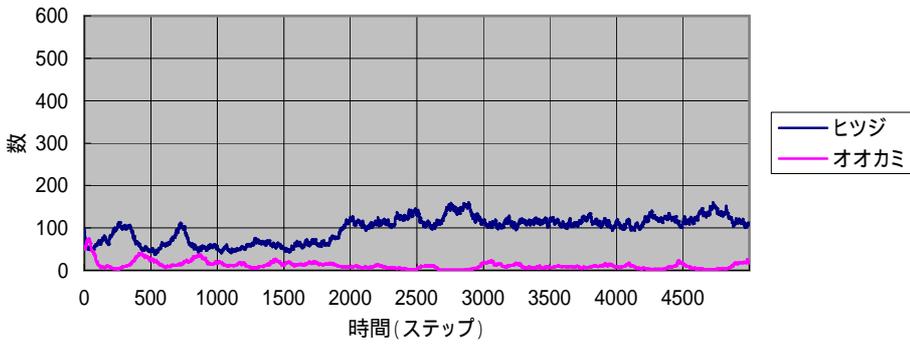
アイソライン図



資料10: 草原サイズ10 (保護エリアあり) の実験結果

頭数グラフ

アイソクライン図



資料10: 草原サイズ10 (保護エリアあり)の実験結果2

頭数グラフ

アイソクライン図

