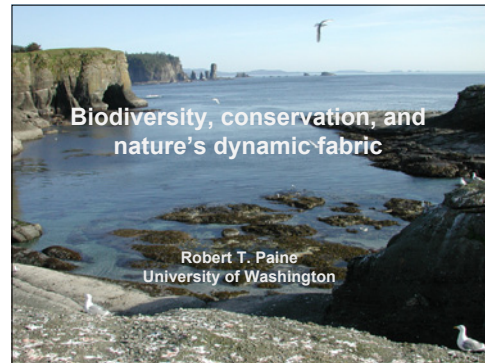


## 生物多様性、保全およびダイナミックな自然の世界

このたびは、2013 年度コスモス国際賞を賜り、身に余る光栄と心より感謝いたします。私と家族にこのようにすばらしい機会を設けてくださった国際花と緑の博覧会記念協会の皆様にもお礼を申し上げます。この受賞記念講演では、ご覧頂いているタイトル(スライド 1)にありますとおり、過去のコスモス国際賞受賞者の皆さんとは異なる、生物多様性のある領域に焦点を当ててお話しをしようと思



スライド-1

一般的に言って、生物多様性—私はあえてこれを「自然」と呼びたいのですが—には、明確に定義される四つの領域があります。まず一つめは、発見に関する領域です。すなわち、どれほど多くの種が存在するのか、それはどこに生息するのか、そしてどのような場所や時期のパターンが研究によって明らかになっているのか、というようなことです。E. O.ウィルソン博士、エステラ・レオポルド博士、海洋生物センサスがこのカテゴリーに属します。第2の領域は、自然が人類に提供する不可欠なサービスです。これはグレッチェン・デイリー博士が 2009 年の受賞講演の際に展開されたテーマでした。人類は、酸素、きれいな水、食料、繊維、多様な医学的に重要な物質、その他多くの恩恵を自然から受けているのです。

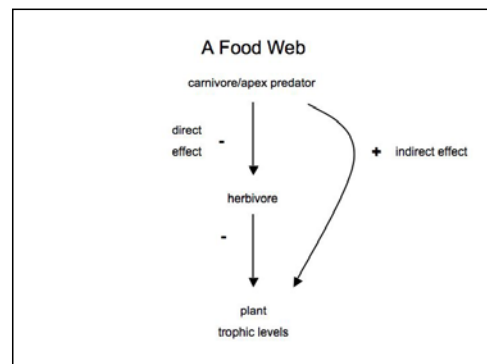
しかし、あと二つの領域のうちの一つについては、私には本格的に語る資格がありません。豊かな多様性を持つ自然は、ほぼすべての形態の芸術のインスピレー



スライド-2

ションの源となってきました。例えば、この刀の鏢(スライド2)は、おそらく 1920

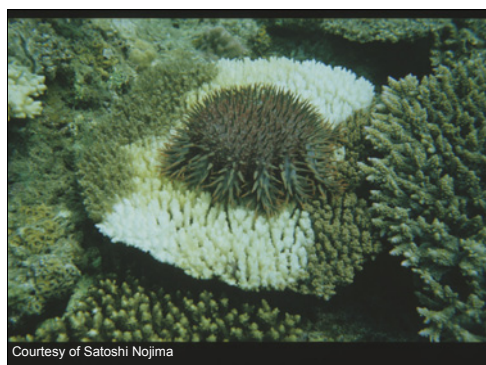
年代半ばに私の父が日本で購入したものです。この鏝にはサギが正確に描写されており、その美しさにはいつも感心させられます。このように自然が芸術に与えるインスピレーションの事例は枚挙に暇がなく、音楽・陶芸・文学などにも及びます。自然は人間の創造性を鼓舞するのです。そして最後に、四つ目の領域だと私が考えるものについてお話しさせていただこうと思います。皆さんご存じのように、種は相互に作用し合っています。このような種のダイナミックな関係を表現するたくさんの言葉があります。いくつか例を挙げますと、捕食者(predators)、競争者(competitors)、寄生(parasitism)、相利共生(mutualism)、共生(symbiosis)などがそうで、これらの言葉は自然の複雑性を理解するのにかろうじて役に立っています。しかし、これらの言葉は個々の種が異なった役割を持っていることを示唆しています。本講演では、このような種の役割の研究に焦点を当ててお話しさせていただきます。私は、これらの関係を説明する最も強力な方法は、食物網(スライド3)であるということ強調したいと思います。食物網とは、要するに、どの種が何を食べ、他の食物網の種にどのような直接的・間接的な影響を及ぼす可能性があるのかを示す単純な図式です。直接的な影響はマイナス要素となることが多く、このマイナス記号「-」で示します。また、間接的な影響では、通常、複数の栄養段階が省かれ、プラス記号「+」で表す場合が多くなります。食物網に関する生態学的な理解は進んできており、このマイナスやプラスの記号の代わりに実数で表し、そして現実的なモデルを構築することも可能になってきています。種の相互作用を表現したこのような食物網の「イラスト」が、一つの種の重要性や自然がどのように機能するかについてのイメージを伝える手段として、いかに効果的かをご理解いただけるよう説明していきたいと思ひます。これらのイラストは、一般の方々に情報をお伝えするため、また自然の保護や再生のために資源を管理する立場にある方々が活動の焦点を定めるための重要な手段となります。



スライド-3

本題に入る前に、まず二つの点を明らかにしておきましょう。生物多様性という言葉は、高次の分類群を指す場合であれ、ある大陸にどれくらいの種が棲んでいるかを指す場合であれ、グローバル（世界的）な意味合いを持っています。しかし、私たち人間は日常的に、とてもローカル（地域的）に自然を体験しています。例えば、散歩をしたり、釣りをしたり、庭の手入れをしたり、お気に入りの海岸や森林に出かけたりする時などがそうです。そして、種の役割を理解するための最も強力な科学的方法である実験的操作も、ローカルに行われます。また、実験的操作では、時間や場所のスケールの適合性も高いのです。

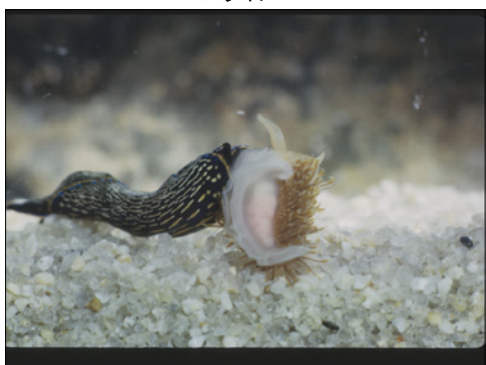
種はダイナミックに相互作用します。このスライド(スライド 4)は、オニヒトデの写真で、サンゴを捕食し、死に追いやっているところです。多くの熱帯地域において、この在来種であるオニヒトデは、その形態学的な美しさにもかかわらず、害獣であると考えられています。次の 3 枚のスライドをご覧ください。 *Navanax* というナマコが、ウミウシを一気に丸ごと吸い込んでいます（スライド 5）、（スライド 6）、（スライド 7）。被食者を容赦なく死に至らしめるのも、自然のダイナミ



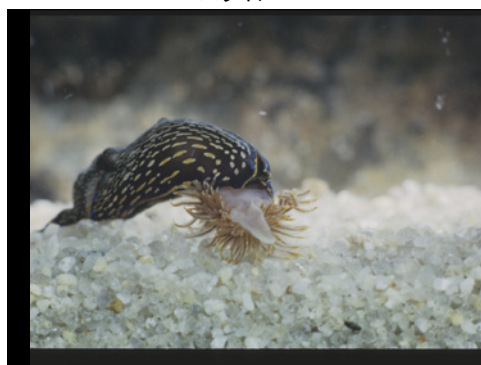
スライド-4



スライド-5



スライド-6



スライド-7

クス的一面です。また、自然の底生生態系の様子が、場所や時間によって異なることもわかっています。時には、資源が一つの種によって独占される「モノカルチャー化」が見られることがあります。チリの沿岸部(スライド 8)の被囊類(ホヤなど)や、私が住むワシントン州沿岸部のイガイ(スライド 9)などがその例です。しかし、もっとも一般的には、多くの種が小さな場所に共存しています(スライド 10)。



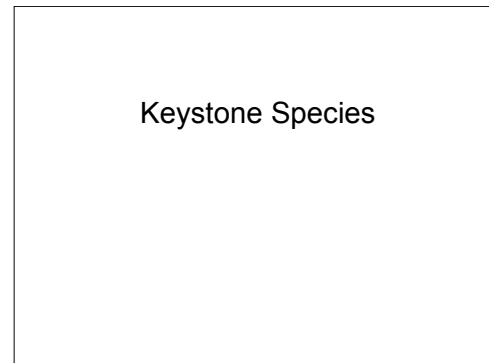
スライド-8



スライド-9



スライド-10



スライド-11

このような観察は必然的に、「多様性に富む場所とそうでない場所があるのはなぜか？」という疑問につながります。(スライド 11) その答えの一部を、自然の中での対照実験によって引き出すことができます。このスライド(スライド 12)の写真に写っているのは、一般によく見られる *Pisaster* というヒトデですが、私はこれを操作するという方法を取りました。次のスライド(スライド 13)は、このヒトデがイガイを捕食しているところです。そしてこのスライド(スライド 14)は、ヒトデが存在していた対照区の様子ですが、ここには動植物が共生しており、かなり多様性があります。しかし、次にヒトデを除去した実験区(スライド 15)を見



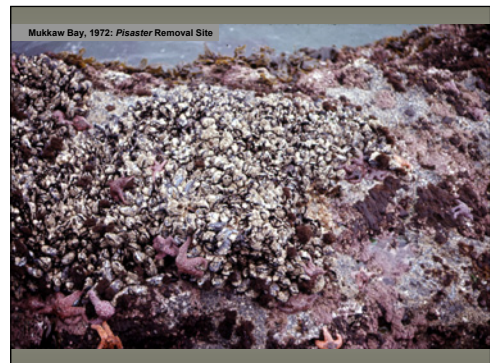
スライド-12



スライド-13



スライド-14

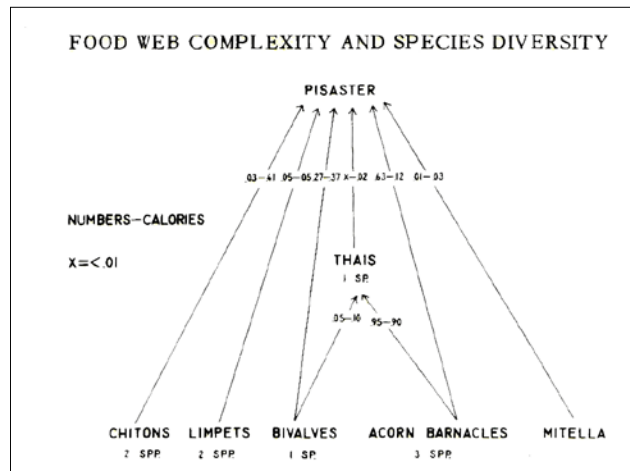


スライド-15

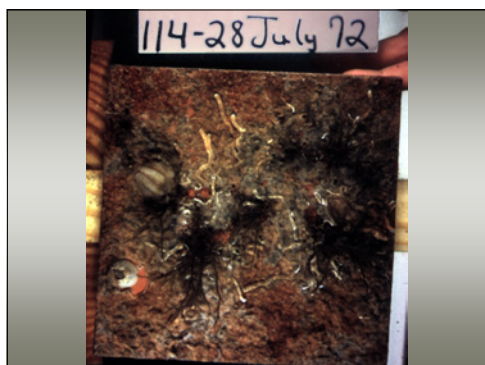
てみますと、ヒトデのいなくなった場所を急速にイガイだけが優占するようになり、他の種が死に絶えてしまいました。次のスライド(スライド 16)にある食物網は、一つの意外な特徴を示しています。

*Pisaster* というヒトデが捕食するのは主にフジツボであって、

イガイではありません。つまり、この実験の結果をもたらしたのは、単に被食者の個体数や捕食のしやすさだけではなく、食べ物の嗜好であるということが示唆されています。この実験結果は、キーストーン種概念に結びつきました。私の実験とは別個に、まったく異なる生態系で行われたある実験でも同じような結果が出ています。魚がいる状態の実験プレートには、多数の種が共存していました



(スライド 17)が、魚を除去すると、被囊類（ホヤなど）が独占する状態となりました(スライド 18)。



スライド-17

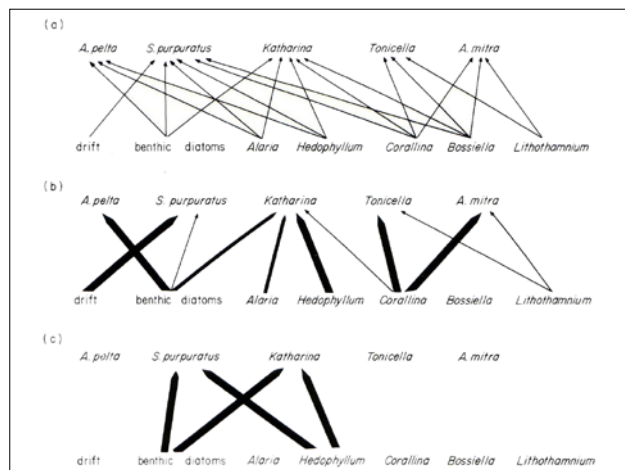


スライド-18

これらの海での実験から、単独の捕食者の種が、非常にさまざまな種—そのうちの一部は被食者となる可能性があります—の共存性を高めることができる、ということがわかります。私はこれらの複雑な相互作用の解明という課題に取り組んできました。食物網が関係しているのは間違いありませんが、しかしどのように関係しているのでしょうか？この図(スライド 19)は私の 1980 年の論文からの引用ですが、ここに示すように、食物網はさまざまな形状、単位、構成を持つことが考えられます。あるモデルでは、すべての種を本質的に平等に扱い、既知の栄養関係を描いています。生物多様性と複雑性は強調されますが、動態については示唆されていません。他の食物網モデルでは、エネルギーの流れに関する関係が示されています。種間のエネルギー移動あるいは栄養段階は、生態系の重要な特性ですが、この食物網モデルはそれぞれの種の持つ役割や影響については示されていません。最後のモデルは、この動的な特性を強調しています。しかし、この食物網の図では、例えば間接的促進などのより広い範囲の効果が分かりやすく表現されていません。栄養段階が 3 段階以上の種間では、多くの場合その動的な効果は「栄養カスケード (TROPIC CASCADE)」として働きます(スライド 20)。栄養カスケードは直接的・間接的な影響をあわせ持ち、このイラストのように非常に単純化された食物網によって説明できます。この食物網から、頂点捕

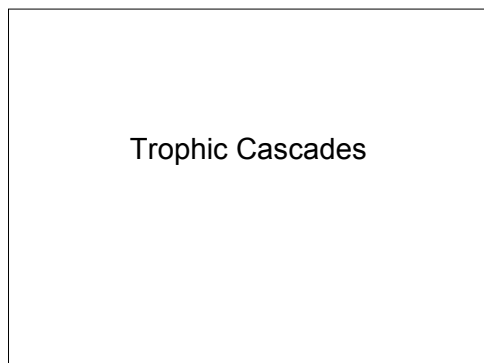
食者である一つの種の重要な役割が明らかになります。

「栄養カスケード」という言葉は私の造語ですが、これから他の研究者による研究の事例についてご紹介していきます。



スライド-19

現在カリフォルニア大学バークレーの教授をつとめているメアリー・パワー (Mary Power) 博士は、季節性の干ばつを利用した観察を行いました。この干ばつにより、浅い小川に孤立した池ができました。このスライド(スライド 21)には、バスを頂点に、その被食者であるミノウ (コイ科の小魚)、そしてその下にミノウが食べる底生藻という 3 段階の食物網が描かれています。バスのいない池では、増えすぎたミノウによって底生藻が食い尽くされ、このように底の石がむき出しになっていました(スライド 22)。これに対して、バスのいる池では、ミノウの数



スライド-20



スライド-21



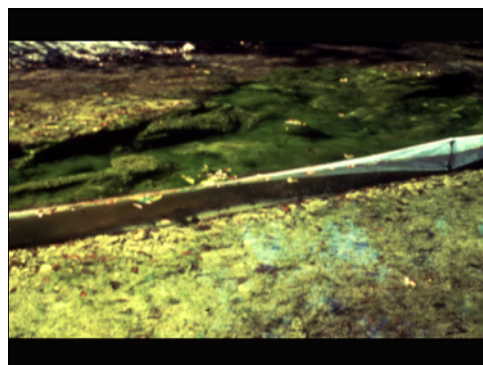
スライド-22



スライド-23

が大きく減少して、底生藻が繁茂していました(スライド 23)。パワー教授は、池を二等分し片方だけにバスを入れるという実験的操作を行いました(スライド 24)。その結果、二つの栄養段階の(バスのいない)池と、三つの栄養段階(バスのいる)の池の間に差が生じ、それは自然の干ばつによってできた池の場合と同じパターンを示していました。

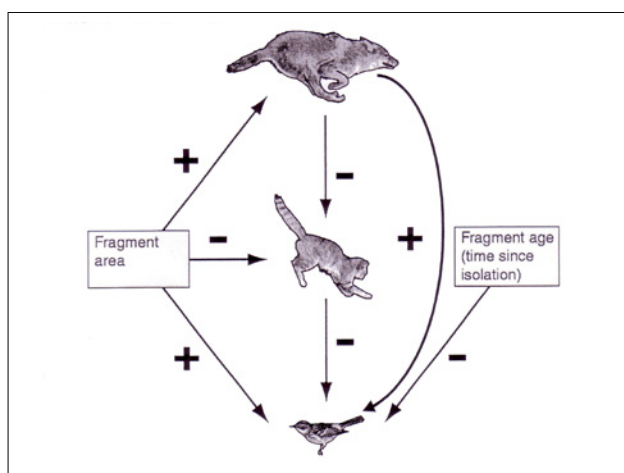
実験による研究ではないのですが、陸上の研究でも、上記と同じパターンがみられます。オオカミよりも小型の近縁種、コヨーテ(スライド 25)は、北米の多くの地域に生息しています。コヨーテの個体数が多いときは、野生のネコやイエネコが捕食されることが多く、ネコの個体数が減少します。コヨーテのいない地域では、ネコの数が増え、鳥やトカゲなどのより小さな脊椎動物をたくさん捕食します。この質的な食物網の図(スライド 26)は、頂点捕食者としてのコヨーテの影響を示しています。コヨーテはネコにマイナスの影響を及ぼし、ネコは鳥にマイナスの影響を及ぼします。しかし、ダイナミクスが加わることで、コヨーテの存在が、鳥に対して間接的なプラスの影響を与えてもいるのです。ネコを戸外で放し飼いにすると、小さな脊椎動物が被害を受けます。



スライド-24



スライド-25



スライド-26



しかし、これは頂点捕食者のコヨーテが都市環境にあまりいない場合に限られます。

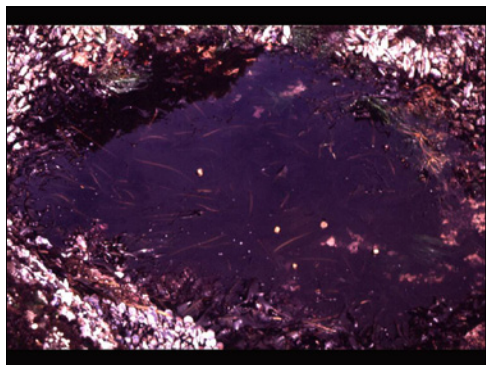
さらにもう一つ事例をご紹介します。これは非常に規模の大きな沿岸海洋生態系に関わるものです。私がワシントン州沿岸部で研究を始めた時、明確な研究対象とした種の一つが個体数の豊富なウニでした(スライド 27)。ウニが密集している潮だまりには、多肉性の藻類がほとんど見られませんでした(スライド 28)。しかし、ウニを取り除いてから一年の間に、状況は劇的に変化(スライド 29)し、多くの海洋生態系の外観と構造に関する重要な示唆を与えました。ウニがいなくなった場所では、より多くの種が共存し、有機物の生成が大きく増加していたのです。私の研究は草食生物とその食物となる植物との間に重要かつダイナミックな関連を提供しました。例えば、カリフォルニア大学サンタクルーズ校のジム・エステス (Jim Estes) 教授らによる、栄養カスケードの最初の研究として広く知られている研究があります。1970 年代にアリューシャン列島で調査が行われ、ラッコ(スライド 30)がいなくなった海域の浅瀬ではウニが優位を占めていること



スライド-27



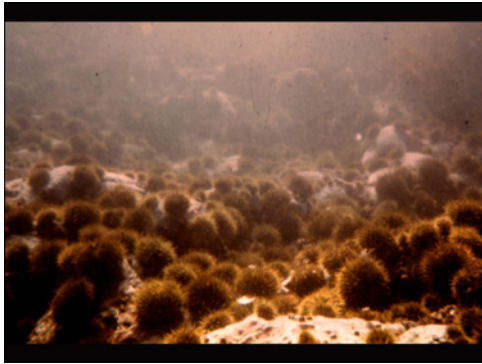
スライド-28



スライド-29



スライド-30



スライド-31



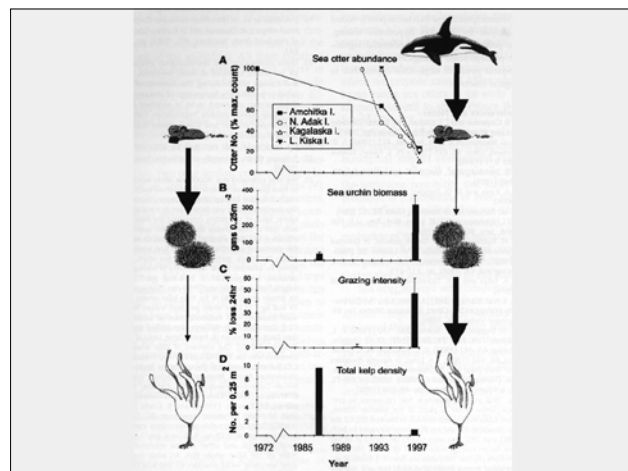
スライド-32

が観察されました(スライド 31)。ラッコがいるところでは、大きなウニの数が少なく、ジャイアント・ケルプが繁茂していました(スライド 32)。しかし、シャチ(スライド 33)がラッコを捕食し始めると、栄養



スライド-33

カスケードが生じ、このスライドのデータ(スライド 34)が示すように、ウニとケルプの顕著な関連が再び立証されました。これらの異なる生態系の状態の間に、生物多様性における変化は認められませんが、生態系の様子及び恐らくその一次生産には、明らかな反応が見られます。実験的研究あるいは比較



スライド-34

研究を問わず、このような研究から学ぶことのできる主な教訓は、頂点捕食者は生物群集と、そこに生息する種が共存する能力に大きな影響力を持ち得るということです。また、食物網の図は、これらのダイナミクスを効果的かつ質的に表現する方法となります。この意味で、食物網の図は単に生態系を描いたイラストにとどまらず、強力な教育ツールとして役立ちます。

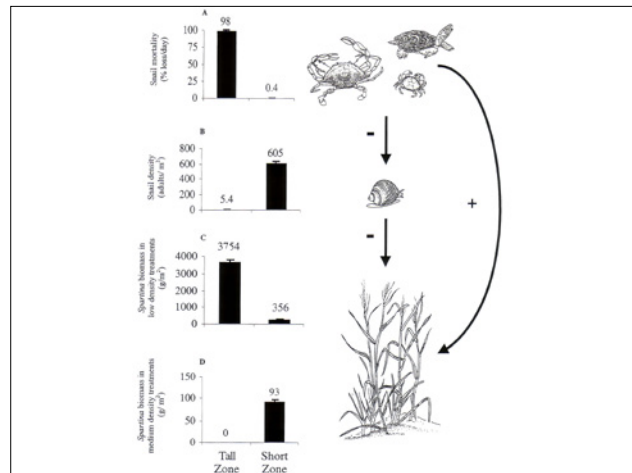


スライド-35



スライド-36

ご紹介した三つの研究には実用的な意味合いがあると見る向きもありますが、これらの研究は、問題主導型の学術的な生態学だと考えるのが一番良いでしょう。研究を行った生態学者たちは、喫緊の社会問題の解決よりも、むしろ



スライド-37

問題に取り組む上で基盤となる研究システムを望んでいたからです。デューク大学のブライアン・シリマン (Brian Silliman) 博士の研究では、この二つの境界がもっと曖昧になります。耐塩性のイネ科植物 *Spartina* (スライド 35) が優占する塩性湿地生態系は、世界中に多数存在し



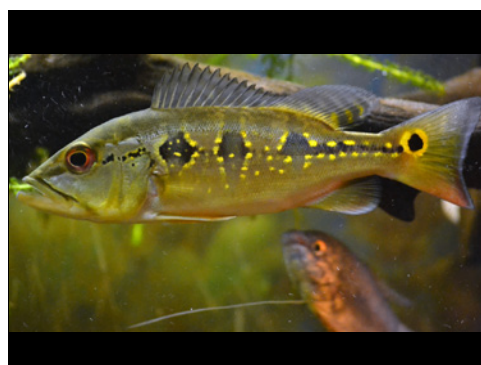
スライド-38

ます。これは、この生態系における単純化された食物網を構成する主要な種の写真です(スライド 36)。主な捕食者はカニで、マキガイを食べ、マキガイは湿地帯のイネ科植物の成長を抑制するのですが、ここで、カニは湿地生態系において大きな役割を果たしているのだろうか? という疑問が生じます。その答えは「イエス」で、それはシリマン博士の実験で実証されています(スライド 37)。博士はその後アリゲーター(スライド 38)が経済価値の高いカニの重要な消費者であること

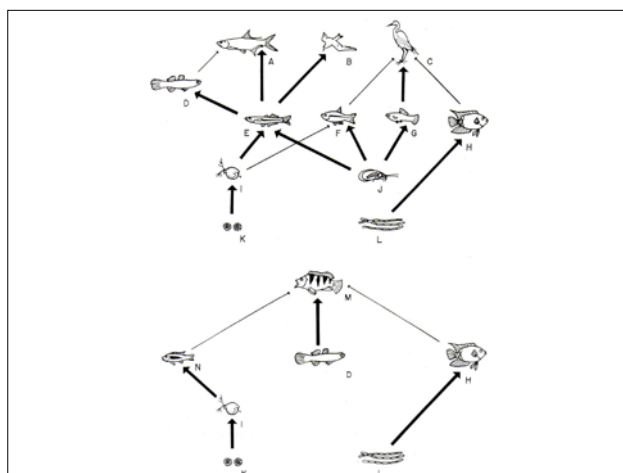
を発見しました。この復活を遂げつつある頂点捕食者アリゲーターは、アリューシャン列島周辺のシャチと同様の影響を及ぼすのか、栄養カスケードを変化あるいは逆行させるのかは、今後明らかになってくるでしょう。保全（アリゲーター）、地域経済（カニ）、生態系サービス（海草）を包含できる可能性について既知の連鎖パターンが示唆してくれるものと思います。食物網はこのような関係をより多くの皆さんにお伝えする効果的な手段なのです。

侵入種の脅威について理解するためにも、詳細な生態学的知見が必要です。ある事例をご紹介します。1967年頃、ピーコックバス(スライド 39)がパナマ運河の淡水域に導入されました。それはたちまち湖沼の食物網に甚大な影響を及ぼし(スライド 40)、魚を食べる鳥類や他の魚類の個体数が減少して、食物網が単純化してしまうという結果を招きました。

これまでご紹介した研究および多数の類似の研究は、「自然と人間との共生」の促進という国際花と緑の博覧会記念協会のすばらしい目標に直接関係しています。この目標の達成は、頂点捕食者が関与する場合、倫理的・社会的にバランスのとれた解決策を得るために、環境管理に関わる難しい決定を伴うものとなるはずです。種を回復させるためには、管理に関わる人々が誤った判断をしないように、その種が持つ役割や複雑な影響についての深い知識を提供しなければなりません。自然との共生の



スライド-39



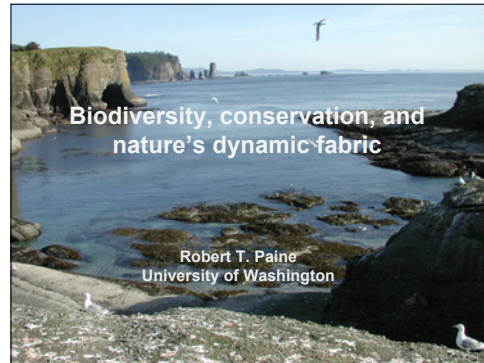
スライド-40

実現は達成可能な目標ですが、そのためには種のアイデンティティのみならず、そのシステムの生態学的構造やダイナミクスにおいて種が果たす役割に関する知識が特に必要となります。その際、頂点捕食者一往々にして迫害されていますがキーストーン種となる可能性の高い種一を最も重視すべきです。このような取り組みは、自然との調和を維持しあるいは取り戻すために役立ち、また人類にとっての最大の利益となります。この目標を達成するため、私は研究者としてのキャリアを捧げて参りました。最後にもう一度、花博記念協会に対しまして、自然を享受し理解したいという私の生涯の情熱について語る機会を与えていただきましたことに、深く感謝申し上げます。

## Biodiversity, conservation and nature's dynamical fabric

I wish to acknowledge with humble but great sincerity the honor of the 2013 International Cosmos Prize and to thank the Expo '90 Foundation for arranging this astonishing opportunity for me and my family.

As you can see by the title of my lecture (SLIDE 1) I'll be focused on a dimension of biodiversity not covered by my distinguished predecessors. Speaking very generally, biodiversity – or what I prefer to call nature - has four clearly defined attributes. First, there is the issue of discovery, that is, how many



SLIDE-1

species exist, where they live, and the patterns in space and time their study reveals. The Cosmos prizes of E. O. Wilson, Estella Leopold, and the Census of Marine Life all fall into this category. A second attribute is that nature provides humanity with essential services, a theme developed by Gretchen Daily in her 2009 lecture. Humanity is beholden to nature for the provision of oxygen and clean water, food and fiber, a long list of medically important substances, and much more.

But there are two other attributes, one of which I am unqualified to talk seriously about. Nature in its magnificent variety has inspired almost all art forms. For instance, this tsuba

(SLIDE 2) was bought by my father in your country probably in the mid 1920s. It has always impressed me as portraying accurately the beauty of herons. A catalogue of such inspirations is easily expanded to include music, pottery, literature and writing. Nature inspires human creativity. But last, I want to develop what I think of as its fourth dimension.

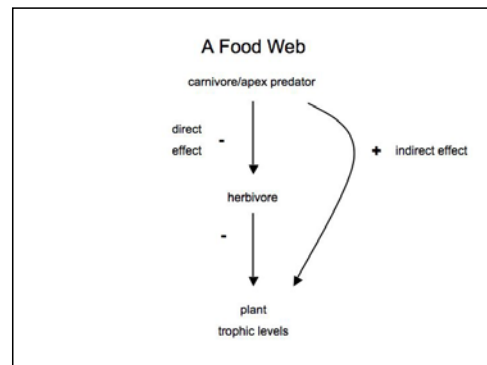


SLIDE-2

We all know that species interact, that is, they are dynamically connected and we

recognize this with a rich vocabulary: predators, competitors, parasitism, mutualism, symbiosis to name a few, and these terms barely serve to catch nature's complexity. However, these terms imply that individual species have differing roles, and it is the exploration of those that forms the primary focus of my lecture. I will emphasize that the most powerful way to illustrate these relationships is a food web (SLIDE 3), basically a

simplified diagram of who eats what, and what the direct and indirect effects on the other web species might be. The direct and usually negative effects are identified by this symbol (-). Indirect influences, usually two or more trophic levels removed, can often be positive (+). The ecological appreciation of food webs continues to evolve, and we are increasingly



SLIDE-3

able to replace these symbols with real numbers, and hence construct realistic models. I will try to convince you that these “cartoons” of interactions are useful in conveying the importance of single species and a feeling for how nature functions. They thus provide an important means of communicating with the public, and directing the focus of resource managers dealing with conservation and restoration issues.

Before I begin I would like to establish two points. Biodiversity is a term that has global implications whether it refers to some higher taxon or how many species inhabit a continent. However, people usually experience nature on a very local scale like when we take a walk, go fishing, tend our garden, or visit a favorite seashore or forest. And the most powerful scientific approach for understanding a species role, experimental manipulation, is also local. The time and spatial scales match well.

We know species interact dynamically. This slide (SLIDE 4) illustrates the crown-of-thorns starfish eating and in the process killing a coral. In many tropical areas this native starfish is considered a pest despite its morphological beauty. These next three slides show the sea slug *Navanax* consuming a whole nudibranch in one quick swallow (SLIDE 5), (SLIDE 6), (SLIDE 7) suggesting that nature's dynamic can often be brutally fatal



Courtesy of Satoshi Nojima

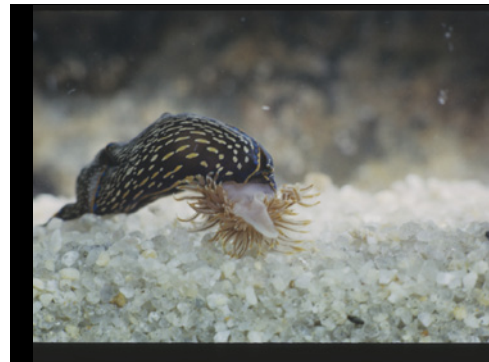
SLIDE-4



SLIDE-5



SLIDE-6



SLIDE-7



SLIDE-8



SLIDE-9

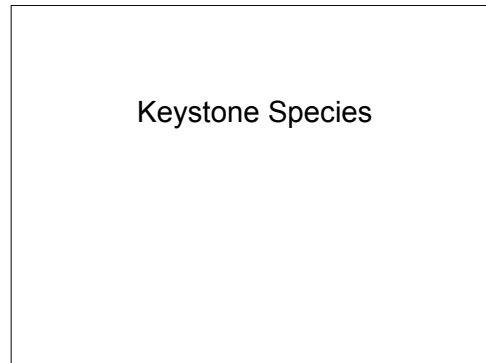
to the victim. We also know that the appearance of natural benthic ecosystems varies from place to place and time to time. Sometimes we see a monoculture when one species dominates the resource, as does this tunicate in coastal Chile (SLIDE 8) or mussels on the outer coast of my home state, Washington (SLIDE 9). But most often many species coexist on a small space (SLIDE 10).

Such observations lead naturally to the question, why are some areas more diverse and others less so? (SLIDE 11) A mechanistic answer in part comes from controlled experiments initiated in nature. I chose to manipulate the relatively common starfish *Pisaster* (SLIDE 12) seen here eating a mussel (SLIDE 13). The control area on





SLIDE-10



SLIDE-11



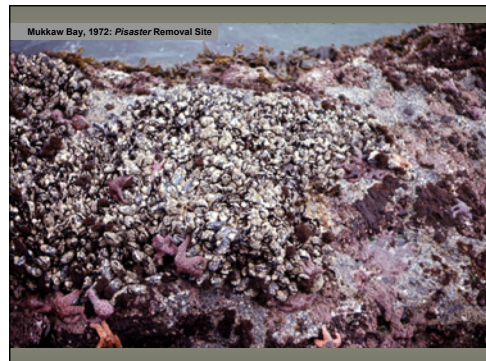
SLIDE-12



SLIDE-13



SLIDE-14

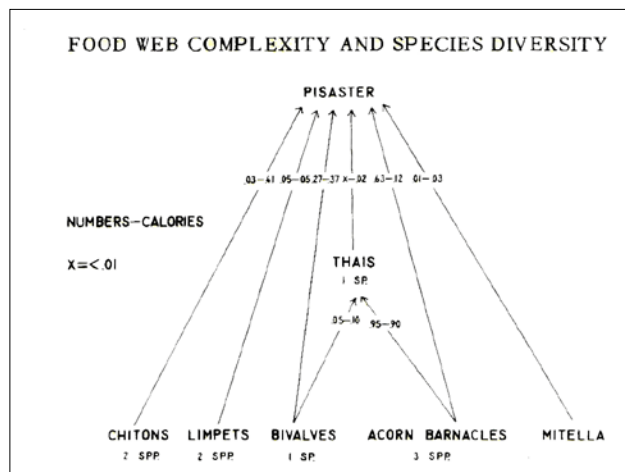


SLIDE-15

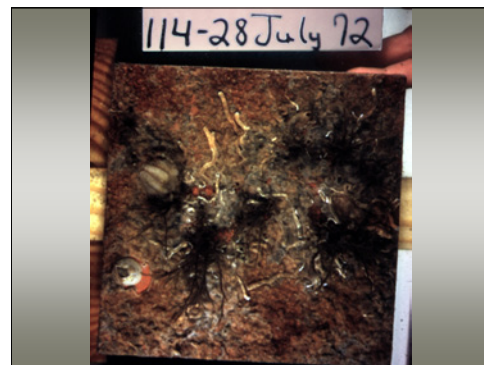
which the starfish persisted, seen in this slide (SLIDE 14) has both animals and plants coexisting; it is relatively diverse. The experimental or starfish removal plot (SLIDE 15) rapidly developed into a monoculture of mussels with other species going locally extinct. The observed food web (SLIDE 16) illustrates one unexpected feature. The majority of *Pisaster's* prey were barnacles, not mussels, suggesting that the experimental outcome was the result of food preference, not simply prey abundance or prey availability. This result led to the concept of KEYSTONE SPECIES. Another set of experiments independent of mine and performed in a very different ecosystem produced a comparable result: when fish were present, the experimental plate had numerous coexisting species

(SLIDE 17); when fish were excluded, a monoculture of tunicates developed (SLIDE 18).

The basic message of these marine experiments is that a single predator species can increase the compatibility of a mix of very different species, only some of which are potential prey. I have wrestled with the challenge of how to illustrate these complex interactions. Food webs would obviously be involved, but how? Webs have numerous possible forms, units and configurations as this illustration (SLIDE 19) from a 1980 paper of mine shows. One model treats all species as essentially equal and just draws the known trophic connections. Biodiversity and complexity are emphasized but there is no hint at the dynamics. Another web cast these relationships in terms of energy flux. Energy transfer between species or trophic levels is an important ecosystem property, but such webs usually don't include



SLIDE-16



SLIDE-17

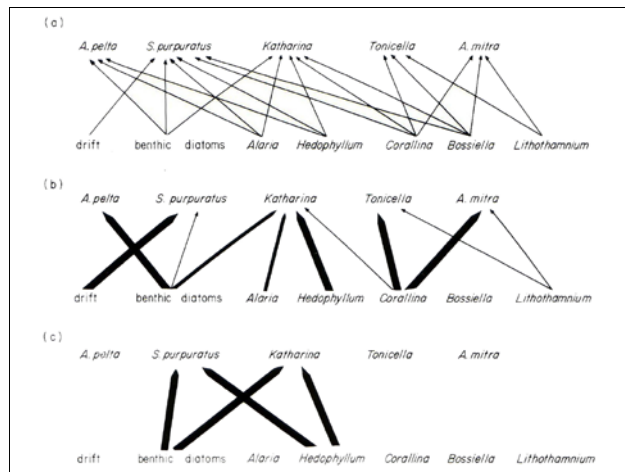


SLIDE-18

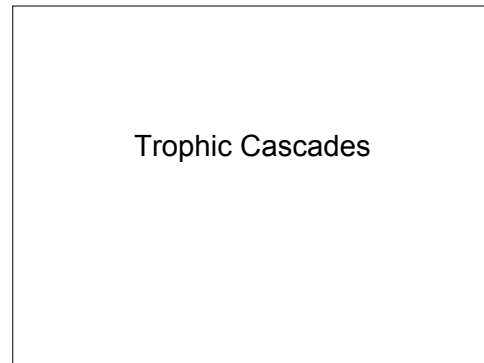
a role for individual species and their influence. The last web emphasizes this dynamical property but the broader effects are not easily shown, for instance indirect facilitation, in this type of illustration. When there are three or more linked trophic levels, the dynamic effect is often a TROPHIC CASCADE (SLIDE 20). Cascades involve a mix of both direct and indirect effects and can be illustrated by cartoon-like and greatly simplified food webs that identify a significant role played by single species or an apex predator. Although the term trophic cascade is my creation, the following examples are the work of others.

Mary Power, now a professor at the University of California, Berkeley, took advantage of seasonal droughts that isolated pools in a shallow stream. The three level food web was described (SLIDE 21) with bass at the top, feeding on minnows that in turn consumed benthic algae.

Pools lacking bass looked like this with barren pebbles because of overgrazing (SLIDE 22). When bass were present, minnows were greatly reduced and the algae flourished (SLIDE 23). Her experimental manipulation was to divide pools in half with bass only on one side (SLIDE 24); the resultant differences between two and three trophic level systems repeats the patterns seen in her initial natural observations.



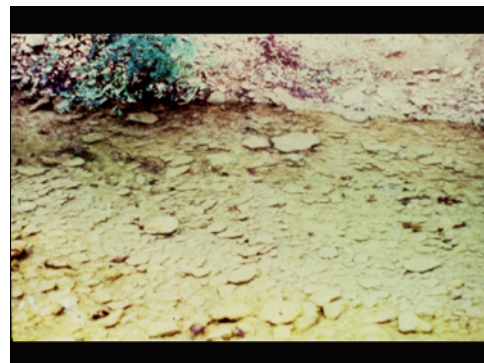
SLIDE-19



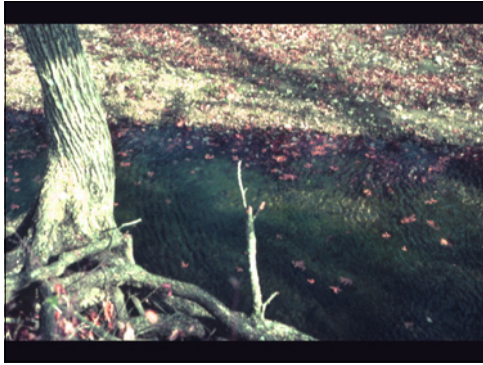
SLIDE-20



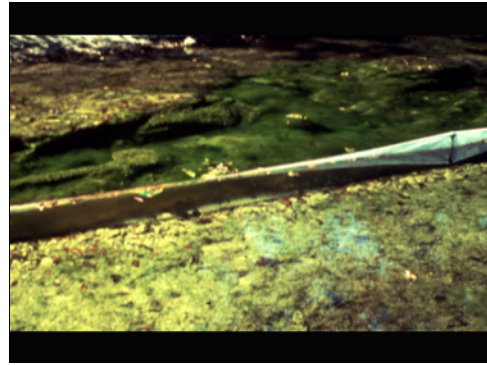
SLIDE-21



SLIDE-22



SLIDE-23



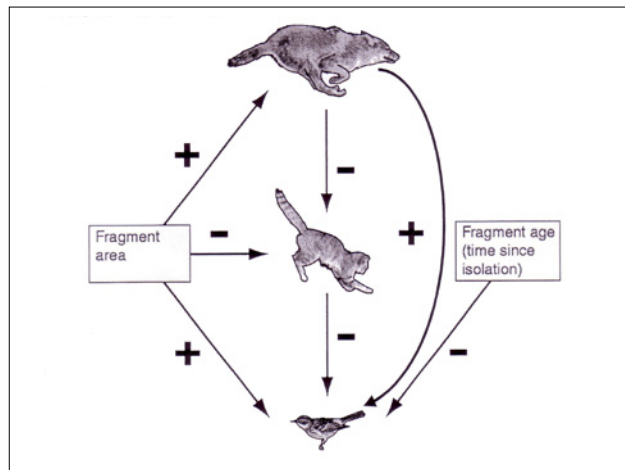
SLIDE-24

A non-experimental terrestrial study repeats the pattern. Coyotes (SLIDE 25), a smaller relative of the wolf, inhabit many parts of North America. When common they often eat feral, domestic cats, suppressing cat abundance. In areas without coyotes, such cats can become abundant and feed extensively on smaller vertebrates like birds and lizards. A qualitative food web (SLIDE 26) conveys the effect of this single apex predator. Coyotes negatively affect cats and cats, birds. But because of the dynamics involved, the presence of coyotes positively and indirectly benefit birds. Letting your cat roam outdoors is harmful to the small vertebrates, but only when the apex predator in this urban setting is rare.

Another example involves a very large-scale coastal marine ecosystem. When I started my research on the Washington outer coast, one of the obvious target species was an abundant sea urchin (SLIDE 27). In tide pools with dense urchins, few fleshy algae could be found (SLIDE 28). However, within a year after urchin removal, the situation changed dramatically (SLIDE 29) with important implications for the appearance and structure of many marine ecosystems. In



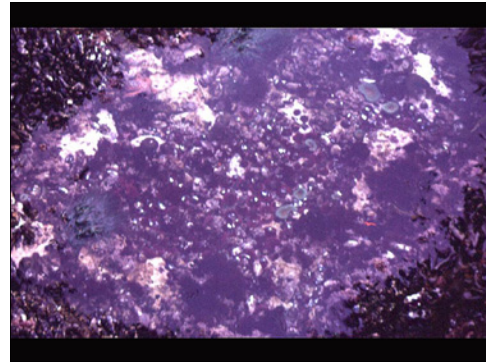
SLIDE-25



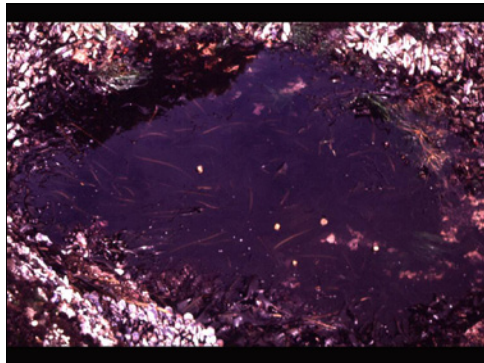
SLIDE-26



SLIDE-27



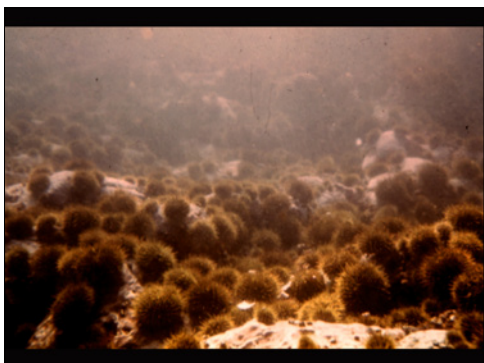
SLIDE-28



SLIDE-29



SLIDE-30



SLIDE-31



SLIDE-32

the absence of urchins more species coexisted and the production of organic matter increased greatly. My study provided the essential dynamic linkage between an herbivore and its plant prey for what is broadly acknowledged as the premier trophic cascade study, that of Professor Jim Estes (University of California, Santa Cruz) and his coworkers. As observed in the 1970s at Aleutian islands without sea otters (SLIDE 30), sea urchins dominated the shallow waters (SLIDE 31). Where otters were present, large urchins were scarce and giant kelps flourished (SLIDE 32). However, when killer whales (SLIDE 33) began to consume otters, the cascade reversed itself and the conspicuous link between urchins and algae was reestablished, as this data slide illustrates (SLIDE 34). Although there are no known changes in biodiversity between these different ecosystem

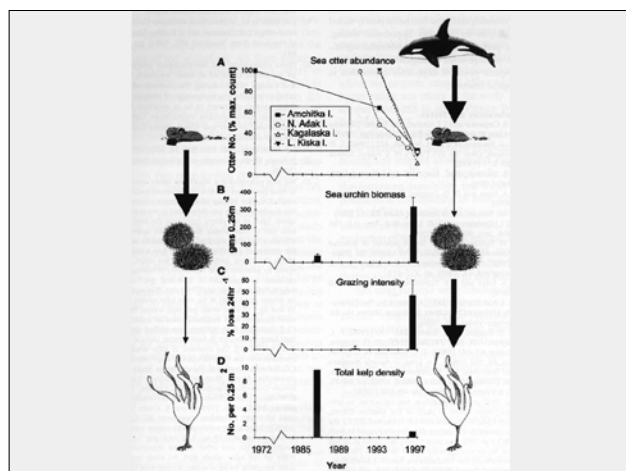
states, the appearance of the system and probably its primary production are clearly responsive. The principle lessons derived from these kinds of studies, whether experimental or comparative, are these: apex predators can have a powerful influence on a community and the ability of its resident species to coexist; and illustrated food webs provide an effective yet qualitative way of portraying these dynamics. In this sense they are more than simply ecological cartoons but instead become a powerful educational device.

Although one can read applied implications into these three studies, they are best thought of as academic, question-driven ecology in that the ecologists chose a research system from which to address a question rather than being motivated to solve some pressing societal problem. This boundary is much less clear in the work of Brian Silliman (Duke University). Globally there are many salt marsh ecosystems dominated by the salt-tolerant grass *Spartina* (SLIDE 35). The primary members of this simplified food web are illustrated here (SLIDE 36) with the main predatory species being a crab, which preys on a snail that in turn can control the development of the marsh grass. The question posed was, did the crabs play a significant role in marsh ecosystem? The answer was “yes” as his experiments showed (SLIDE 37). Silliman has since discovered that alligators (SLIDE 38) are an important consumer of the economically valuable crab.

It remains to be seen whether this recovering apex predator will mirror the influence of killer whales along the Aleutian chain and alter or reverse the trophic cascade. The known linkage pattern suggests that this is a strong possibility, with



SLIDE-33



SLIDE-34



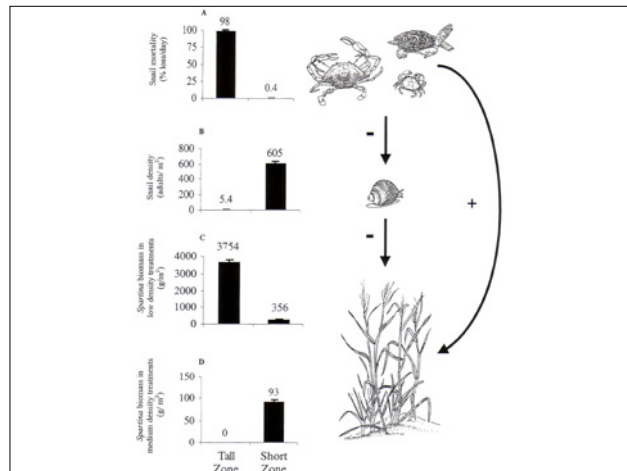
SLIDE-35



SLIDE-36

implications for conservation (alligators), local economies (crabs), and ecosystem services (sea grasses). Food webs are an effective means of conveying these relationships to a broader audience.

Understanding the menace posed by invasive species also

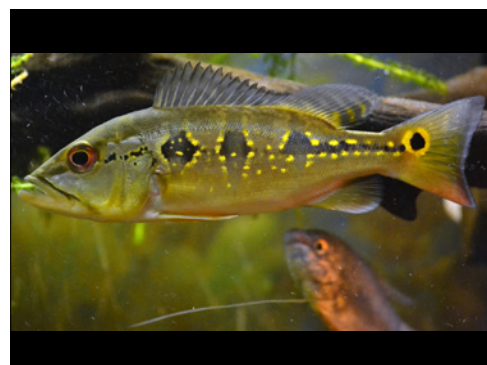


SLIDE-37



Courtesy of B. Silliman

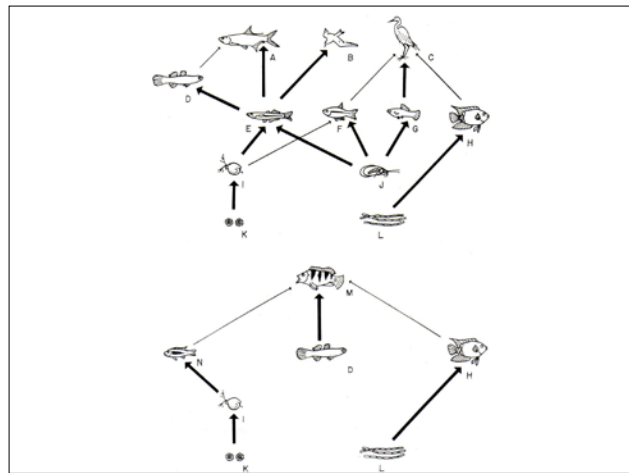
SLIDE-38



SLIDE-39

requires similar ecological detail as the following example illustrates. The peacock bass (SLIDE 39) was introduced into the fresh waters of the Panama Canal about 1967. Its immediate effects on the lake food web were profound (SLIDE 40) with populations of fish-eating birds and other fishes diminished and with a resultant food web simplification.

These and many comparable studies bear directly on the laudable goal of the Cosmos Foundation, promoting “the harmonious coexistence between nature and mankind”. Achieving this goal will almost certainly involve difficult management decisions when apex predators are involved if an ethical and



SLIDE-40

socially balanced solution is to be attained. If restoration is desired, deep knowledge of the role and compounded influence of such species must be available to managers if mistakes are to be avoided. Achieving a harmonious relationship with nature is a reachable goal but one that will require knowledge not only of a species’ identity but especially the role it might play in a system’s ecological structure and dynamics. Apex predators, species that are often persecuted and potential keystone species, should be a primary focus. Such efforts will help maintain or restore harmony to nature and in the process be in humanity’s best interest. I have dedicated my career towards this goal, and again thank the Expo ’90 Foundation for permitting me to discuss my life-long passion for enjoying and understanding nature.