

**アロワナ性別特定問題への体系的なアプローチ
発明問題解決のアルゴリズム (ARIZ) を使用して**

**第9回 TRIZシンポジウム 2013
9月 5～6日, 2013**

**TriZit Benjaboonyazit
(泰日工業大学、タイ国)**

氏名: TriZit Benjaboonyazit (タイ語ではトライシットと読み、三つの成功という意味)

学歴: 工学修士 (電気工学), 東京大学

現職: 工学部、泰日工業大学、タイ国

TRIZ との関わり: 泰日経済技術振興協会に在職中、著者が2005年に産業能率大学からいらっしゃった黒澤慎輔先生に TRIZ を教わった。その後、TRIZThailand.Community という公開の教育ウェブサイトを作った。それから、2006年及び2007年に日本へのTRIZ視察団に参加した。そのほか、多数のTRIZの本及び記事を著わした。



問題の背景

著者は、タイ南部のゴールデンアロワナ養殖場を訪れた際、このアロワナの性別を特定するのが難しいという問題に出会い、TRIZの実践者の観点からこの問題を眺めてみました。



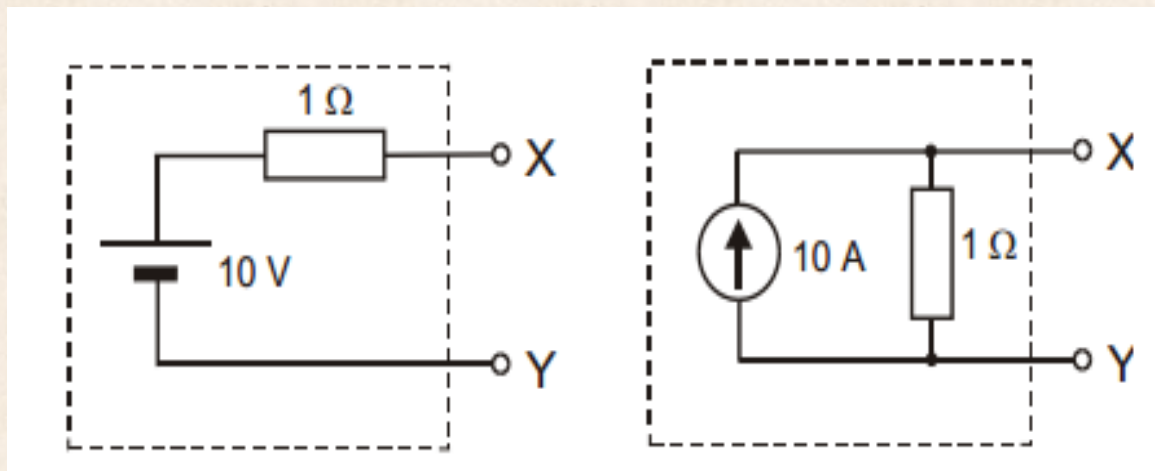
問題状況

アロワナは美しく、高価な魚です。多くの養殖場は、アロワナの繁殖の効率を改善しようとしていますが、問題は、アロワナは雌雄同形で、外観からはオスかメスかを区別することができないことです。これがアロワナの交配及び販売を難しくしています。様々な試行錯誤が行われましたが、ほとんど成功していません。



類型問題の成功事例から学ぶ TRIZブラックボックス問題

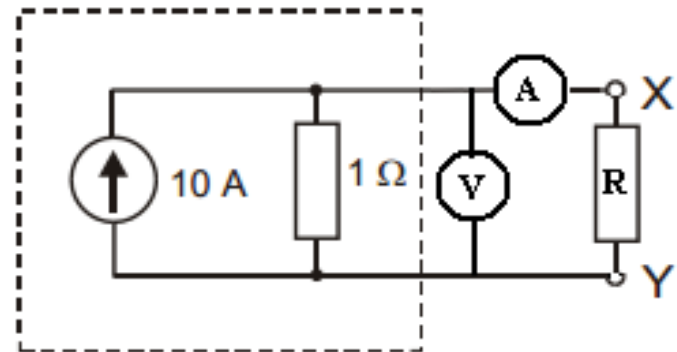
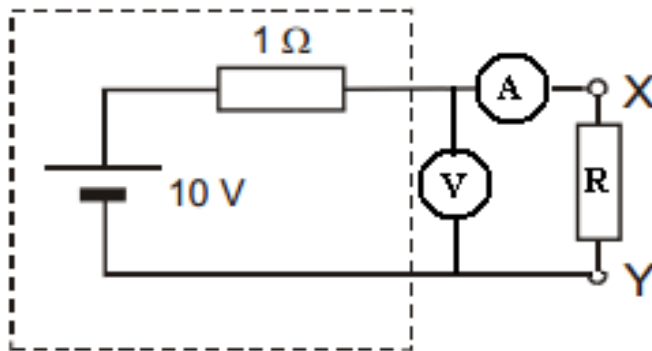
他の分野における同様の類型問題で、すでに解決されたものがないか、適用することができる発明原理がないかと検索してみました。幸運にも類型問題として、外見が同一の二つのブラックボックスに二つの異なる電気回路のいずれかが入っていて、各々を区別する問題を発見しました。



心理的惰性

筆者のような電気エンジニアは心理的惰性の中に閉じ込められて、自分の回路解析の専門知識だけを用いて、解決しようとしたが、成果を得られませんでした。ブラックボックスの中の二つの異なる電気回路は同じ等価回路だからです。

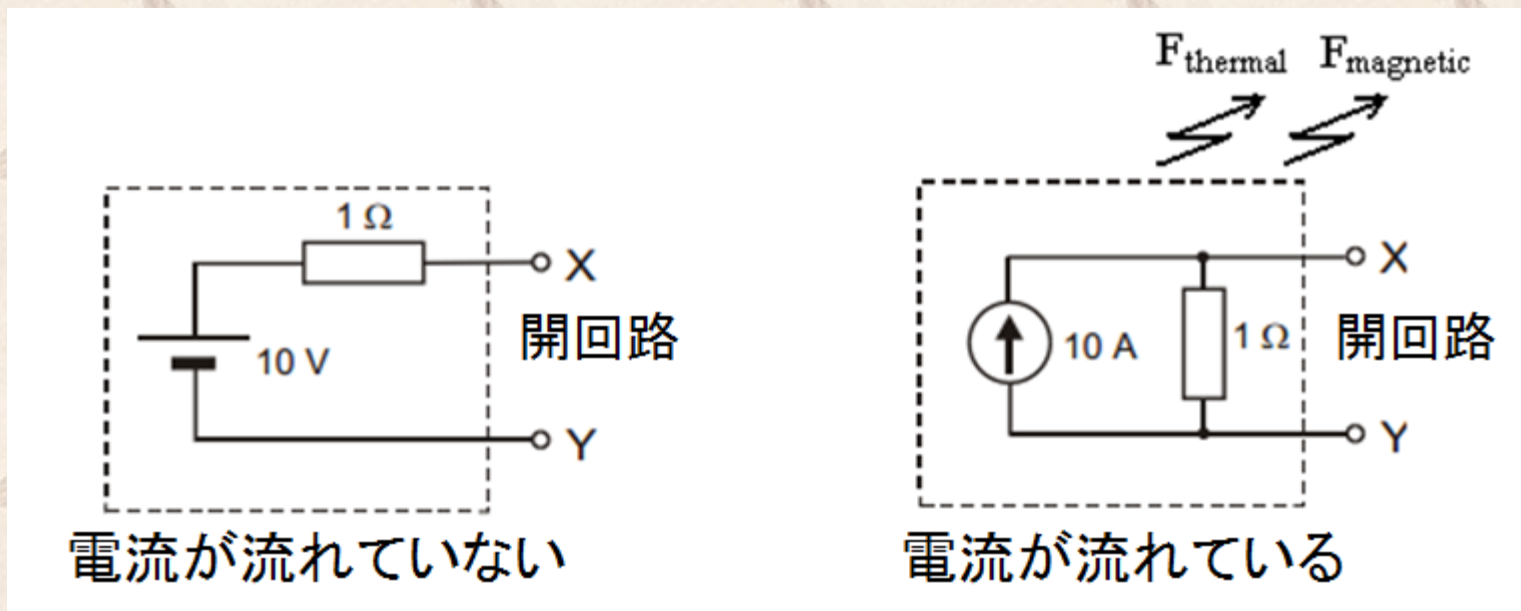
どんな値の抵抗器 R を端子 X - Y に繋いでも、端子 X - Y における電流 (A) と電圧 (V) は二つの電気回路において常に同じです。



TRIZにおける資源の概念

端子 X-Y に何も繋いでいない時（開回路）、二つのブラックボックスの違いは、内部から放出された熱または磁界を検出して簡単に識別できます。

導体に電流が流れている方のボックスは導体の周りに熱および磁界を放出しているからです。

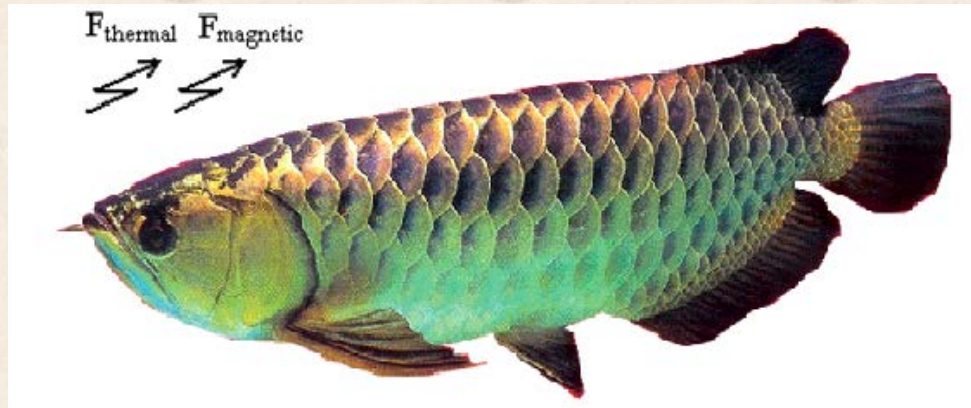


アロワナ性別特定問題に TRIZブラックボックスの解決策を応用してみる

考えられる解決策として、

アイデア 1: メスとオスの体の温度差を検出する

アイデア 2: アロワナから放出される磁界を検出して、利用する



これらのアイデアは、最終的な解決策ではありません。
可能性を探索するための二次問題としての手がかりを残
してくれれます。

その他の資源および解決策はあるでしょうか？

ARIZへの挑戦

TRIZにおける資源の概念は発明問題解決のアルゴリズム (ARIZ) の中で重要な部分をしめています。そこで、著者はARIZを使用して体系的に問題を分析し、アロワナの性別を特定する方法をアイデア発想してみました。



ARIZ-85C

第1部 問題の分析

第2部 問題モデルの分析

第3部 IFRと物理的矛盾の特定

第4部 物質・場資源の動員と活用

第5部 知識ベースの利用

第6部 問題の変更または交換

第7部 物理的矛盾解消方法の分析

第8部 解決策の活用

第9部 問題解決プロセスの分析

(ARIZ-85C の日本語への翻訳は一部

<http://www.trizstudy.com> から引用しました。)

問題の記述

アロワナは美しく、高価な魚です。多くの養殖場は、アロワナの繁殖の効率を改善しようとしていますが、問題は、アロワナは雌雄同形で、外観からはオスかメスかを区別することができないことです。これがアロワナの交配及び販売を難しくしています。様々な試行錯誤が行われましたが、ほとんど成功していません。

アロワナは、約4年で成熟します。雌アロワナは20～30個の大卵子を擁する単一の卵巣を有しており、雄アロワナは、単一の糸のような精巣を有しています。

生殖器官を露出させることによって、アロワナの性別を特定することは可能ですが、これはアロワナを危険にさらす可能性があります。

1. 1 最小問題の定式化

バイオ技術システムは
＜アロワナの性別を特定する＞ためのシステムで、
＜雄アロワナ、雌アロワナ、淡水を入れたタンク、気泡、飼料、露出要素および人間の眼＞によって構成されています。

最小問題: システムを変化させることは極少とする前提で、
＜アロワナに害を与えることなく、アロワナの性別を特定する＞



技術矛盾 (TC) は、次のように定式化されます。

◆ TC-1

＜強力な露出要素を使用すると、アロワナの性別を簡単に特定できるが、アロワナに害を与える＞

◆ TC-2

＜非力な露出要素を使用すると、アロワナに害を与えないが、アロワナの性別を特定するのが難しい＞

注意：

上記の技術矛盾では {心理的惰性に閉じ込められないように} 「ナイフ、カッターなど」の専門用語を避けて「露出要素」という一般用語として表現しています。

1. 2 対立する主要要素の明確化

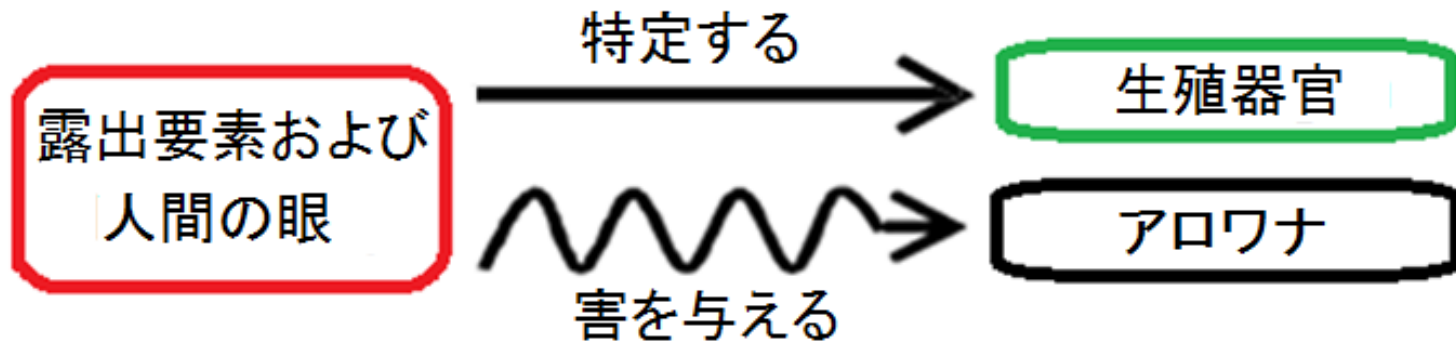
◆ワーク: アロワナの生殖器官

◆ツール: 露出要素および人間の眼

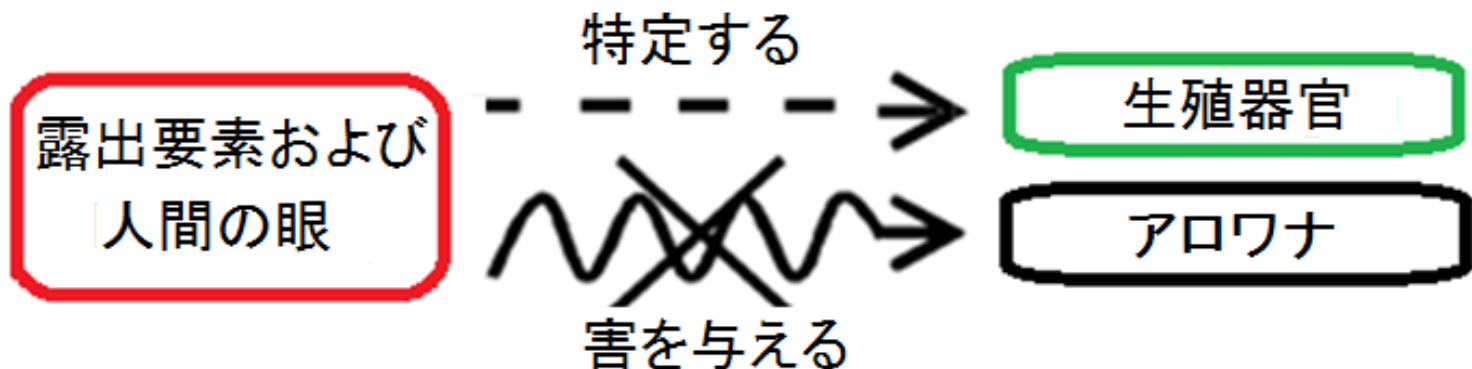


1. 3 TC-1とTC-2の図式モデルの作成

TC-1 強力な露出要素を使用する



TC-2 非力な露出要素を使用する



1. 4 分析に使う図式モデルの選択

アロワナの性別を特定することに関する問題では、システムの主要な有益機能はアロワナの性別を特定することです。ですから、モデルTC-1を選びます。

モデルTC-1では強力な露出要素を使用することで、アロワナの生殖器官が露出されます。

このステップで、有害機能を排除するという問題を解決することになります。標準解1.2.2(ツールを修正する)、または発明原理21(超高速実行)のことを思い出して、次のようなアイデアが発想されます。

アイデア 3: 高速かつ正確で強力なレーザー手術技術のようなものを使用する

しかし、この方法はコストが高く、また、魚の安全性は保証できません。

1.4 分析に使う図式モデルの選択 (つづき)

TC-2 非力な露出要素を使用する



アロワナの性別を特定することに関する問題では、システムの主要な有益機能はアロワナの性別を特定することなのですが、魚の安全性が最優先されているので、モデルTC-2を選択します。このモデルでは非力な露出要素を使用しているので、アロワナの生殖器官が露出されるように有益機能を改善するという問題になります。

1. 5 矛盾の先鋭化

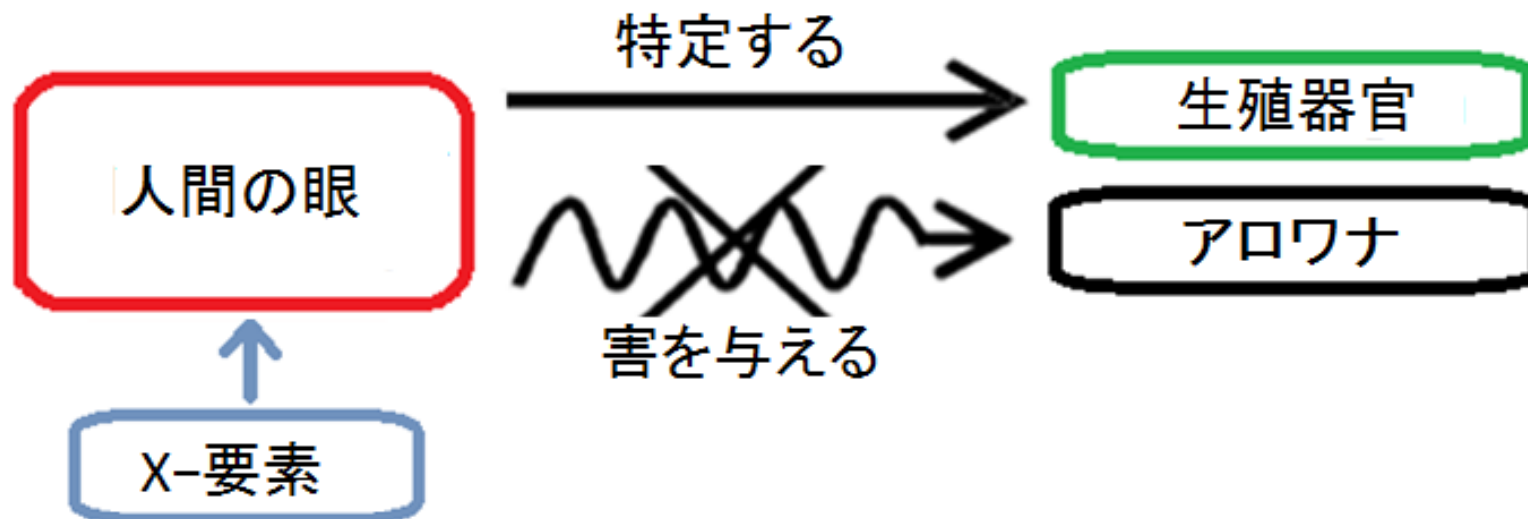
TC-2 不在の露出要素を使用する



有害機能を有益機能で妥協(トレードオフ)されないように、TC-2 において、非力な露出要素が不在の露出要素に置き換えられたことを想定して、矛盾の先鋭化をします。

1. 6 問題モデルの記述

TC-2 不在の露出要素を使用する



次のようなX-要素が求められます：不在の露出要素の（アロワナに害を与えないという）能力を維持しつつ、アロワナの性別を簡単に特定する方法を提供してくれる

1.7 標準解の適用

この問題は検出問題なので、標準解クラス4を適用して、問題を解決することができないか検討します。

(標準解 4.2.1 元のシステムに干渉することなく、フィールドを変更する)

アイデア 4: 超音波を用いる

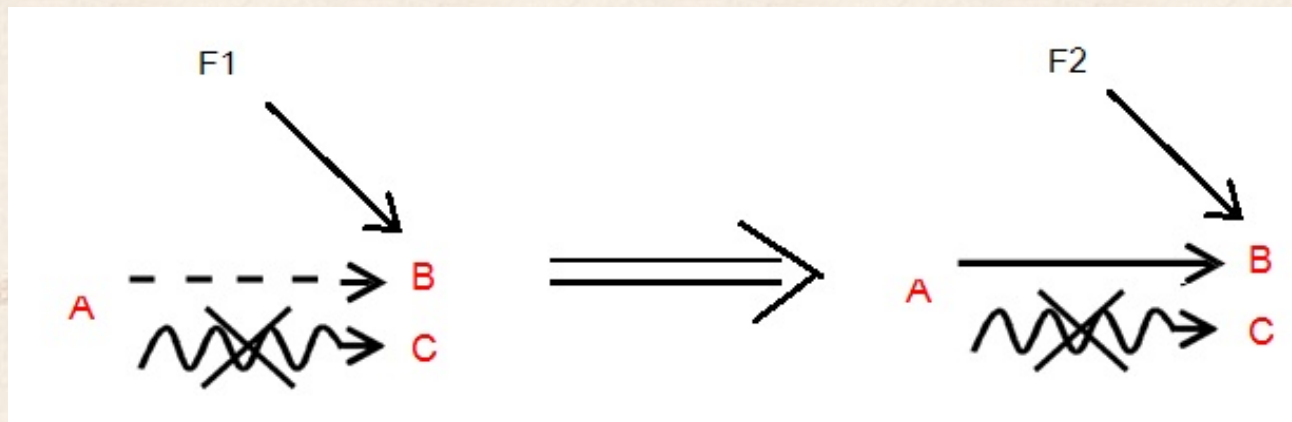
A = 人間の眼

B = アロワナの生殖器官

C = アロワナの安全

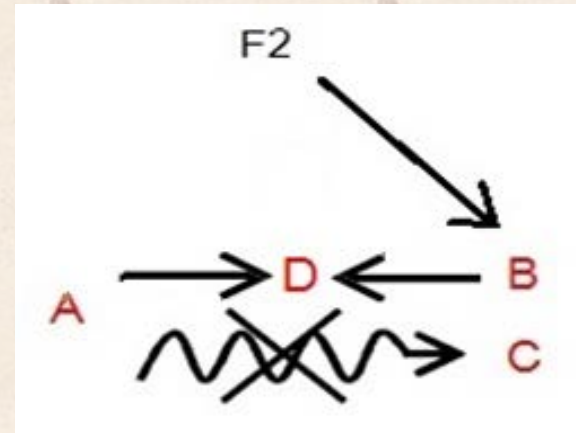
F1 = 光

F2 = 超音波

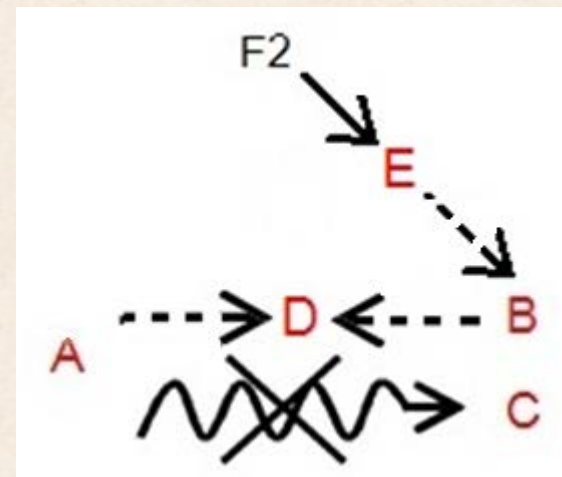


1.7 標準解の活用(つづき)

人間の眼では生殖器官を直接見ることができないので、超音波画像のモニター(D)を追加する必要があります。



これは良い解決策になると思われましたが、実際の適用では、このシステムはアロワナの厚いうろこ(E)が原因で失敗に終わりました。



2.1 操作空間の特定

アロワナの性別を特定する問題では、操作空間がアロワナの生殖器官の周りの場所であると定義します。

2.2 操作時間の特定

アロワナの性別を特定する問題では、操作時間がアロワナの生殖器官が観察される期間であると定義します。

2.3 物質・場資源の特定

アロワナの性別を特定する問題では、不在の露出要素を考慮に入れているため、物質・場資源は、分析しているシステムと外部環境に含まれる物質とエネルギーになります。このケースでは、タンクの淡水、気泡、飼料および魚自体のほかに、魚の体内から放出または体内へ吸収される物質やエネルギーが物質・場資源(SFR)として考えられます。

アイデア 5～12: このステップで、次の表のように、物質・場資源のリストを作成し、これらの資源からアイデアを発想してみます。

2.3 物質・場資源の特定 (つづき)

物質・場資源のリストおよび発想されたアイデア

物質・場資源	S or F	発想されたアイデア
分泌物	S	性ホルモンの検査に使う。
重量	F	オスアロワナの方は重量が重い。
体温	F	メスアロワナの方は体温が高い。
光の反射	F	アロワナのうろこは雄雌によって違った色を反射する。
音響	F	アロワナは雄雌によって違った音を出す。
香り	S	メスアロワナの方が相手を引き寄せるために匂いを出す。
オスアロワナ	S	検出器としてメスアロワナの匂いを検出する。

3. 1 理想的な結果 (IFR-1) の公式による記述

X-要素を導入した理想的な結果 (IFR-1) の公式は次のように記述します：

X-要素は、システムを複雑にすることや、有害な現象を引き起こすことは一切なしに、操作時間 (OT) に、操作空間 (OZ) において、ツールが確実に < アロワナに害を与えない > 機能を実行しながら、< アロワナの性別を特定する > 機能を改善する

3. 2 IFR-1の一層強調した形での公式

X-要素が物質・場資源から来るという追加要件を導入することによって、IFR-1の公式を一層強調します：

X-要素は、システムを複雑にすることや、有害な現象を引き起こすことは一切なしに、操作時間(OT)に、操作空間(OZ)において、ツールが確実に<アロワナに害を与えない>機能を実行しながら、<アロワナの性別を特定する>機能を改善し、かつ、X-要素は物質・場資源(SFR)によって置き換えられる

3. 3 マクロレベルでの物理的矛盾の公式

アロワナの性別を特定するために、観察期間（操作時間）中には生殖器官（操作空間）が露出され、観察期間終了後には、魚の安全を守るために、生殖器官が露出されない

このステップではまだアイデアがないので次のステップへ進みます。

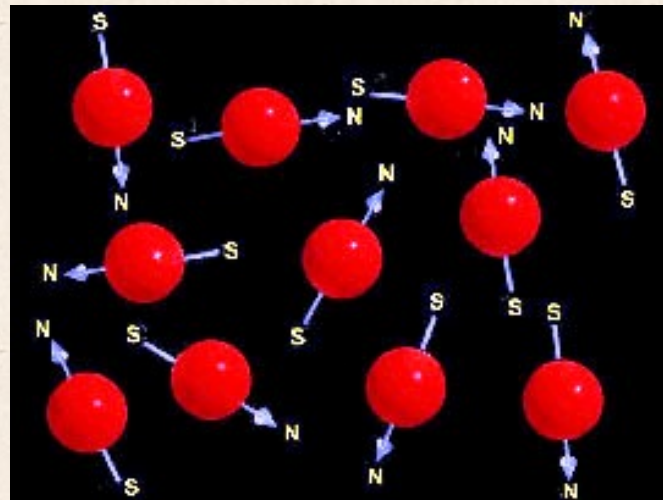
3. 4 ミクロレベルでの物理的矛盾の公式

アロワナの性別を特定するために、観察期間（操作時間）中には特別な原子が生殖器官（操作空間）の周りに現れ、観察期間終了後には、魚の安全を守るために、その特別な原子が現れない

ミクロレベルでの物理的矛盾を使って、次のステップで、理想的な結果（IFR-2）の公式を記述します。

3.5 理想的な結果(IFR-2)の公式

アロワナの性別を特定するために、観察期間(操作時間)中には、生殖器官(操作空間)の周りの普通の原子が自ら特別な原子に変わり、観察期間終了後には、それらの特別な原子が自ら普通の原子に戻る

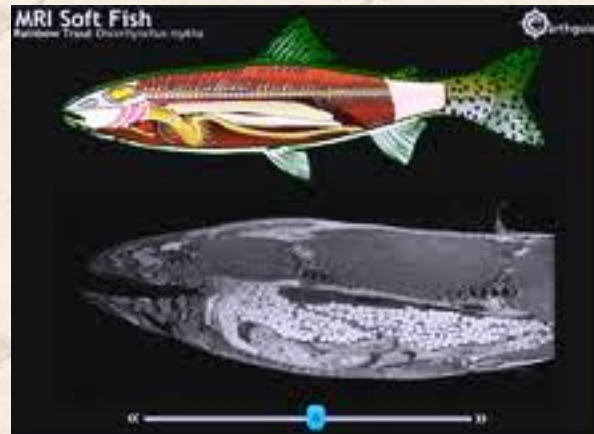


3. 6 標準解の適用

標準解 2.4.7 自然現象を利用する(例えば、場に沿ってオブジェクトが整列したり、キュリー点以上になると強磁性が喪失したりするなど)

標準解 4.4.5 磁気などに関連付けられた自然現象の効果を測定する

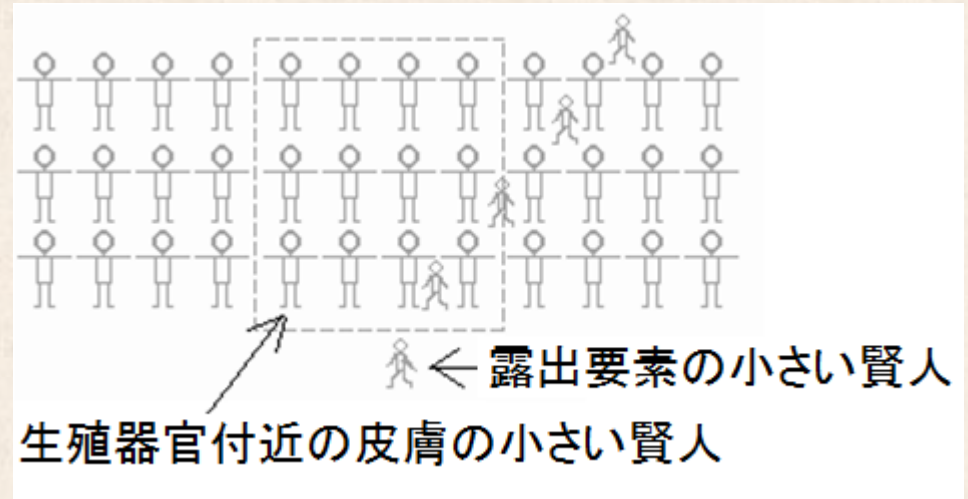
アイデア 13: 生殖器の周りの原子の方向を整列させ、特定の原子核からの共振を検出する磁気共鳴画像(MRI)を使用する



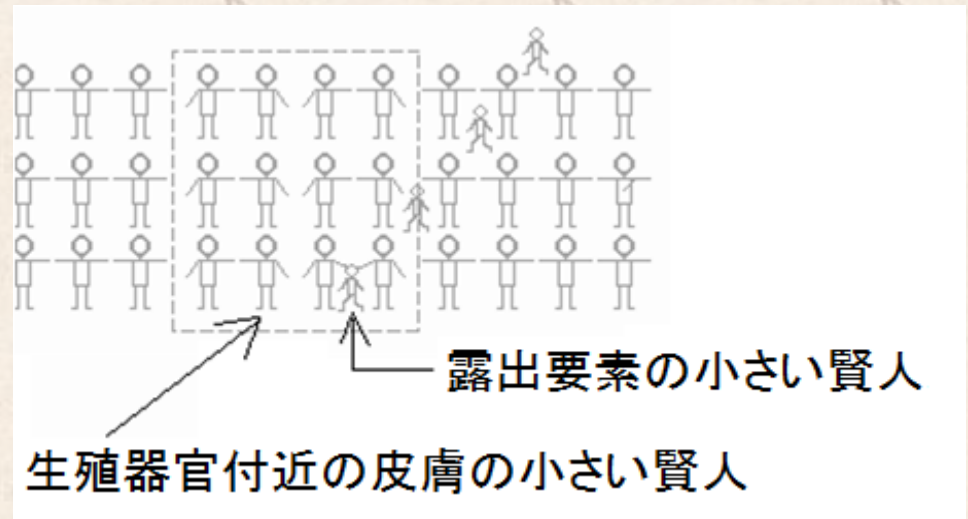
Earthguide & Scripps Institution of Oceanography

4. 1 「小さい賢人」モデルの利用

皮膚の小さい賢人(SLP)は、両手をつなぎ、アロワナの生殖器官を露出させない



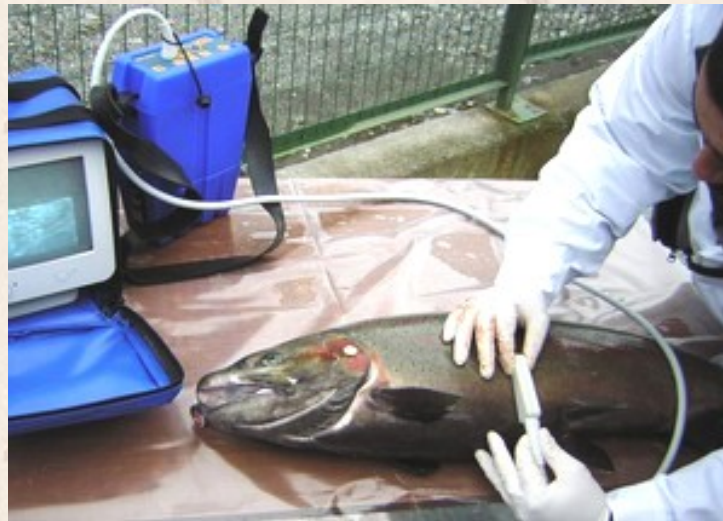
皮膚の小さい賢人(SLP)は、手を離し、アロワナの生殖器官を露出しやすくする



4. 1 「小さい賢人」モデルの利用 (つづき)

問題： どうすれば生殖器官の開口部付近の皮膚の小さい賢人の結んだ手を切り離すことができるか

アイデア 14: 潤滑油性物質を使用し、開口部内にスパイを送り込む(開口部を通して超音波プローブを挿入し、生殖器官の画像を検出する)



BCF Ultrasound

4. 2 IFR から一步後退

注記 39 ... 最小問題にたいする解決策は物質・場資源を消費する程度が少なければ少ないほど優れているといえます。しかし、全ての問題が資源をほとんど使わずに解決できるわけではありません。時には外部から物質とエネルギー場という「構造」を導入するという形で原則を外れなければなりません。でも、こうするのは、問題状況に含まれている物質・場資源だけではどうにもならない不可欠なケースに限定しなくてははいけません

このケースでは、問題状況に含まれる物質・場資源の代わりに外部から物質とエネルギー場を導入し、内部資源と協調してアロワナの性別を特定するので、IFRからは一步後退することになります。

4. 3 物質資源の組合せの利用

二つ以上の物質資源を組み合わせることで、
よって問題を解決できないか検討します。

アイデア 15: アロワナから排出される分泌物、
排泄を使用して、DNA検査を行います。

備考: これは実際に行われているものですが、
DNA検査のコストが高いため、それが普及して
いません。また、アロワナの染色体が複雑であ
るため、その有効性について疑問が残っていま
す。

4.4 空き空間の利用

アイデア 16: 雄アロワナは、受精卵が稚魚になるまで自分の口の中でインキュベート(養護)するため雌アロワナより大きな口を有するので、口や空き空間の大きさにより雌アロワナと区別できると考えられます。

備考: この方法は広く用いられているものの、正確さに欠けており、信頼性が低いとみなされています。



4. 5 派生的物質資源の利用

派生物質資源または派生物質資源と空き空間資源との混合物を用いて問題を解決することを検討します。

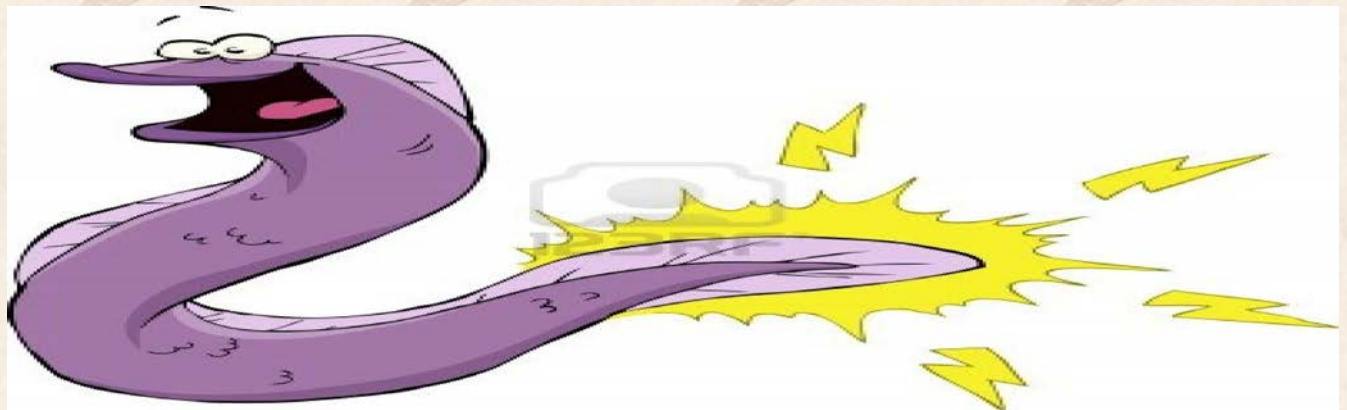
アイデア 17: オスとメスの色の違いを増大させるような物質を含む飼料をアロワナに食べさせます。この場合には、色が派生光場です。

アイデア 18: アロワナの大便秘物を分析するために、直腸の中にセンサーを挿入します。

4. 6 電気エネルギーの場の利用

アイデア 19: オスとメスのアロワナが電界の下で異なる反応をすることがあるかも知れない

アイデア 20: オスとメスのアロワナは電気ウナギのようにある程度の電界を放出するかも知れない



4. 7 エネルギー場とそのエネルギーに対応する物質セットの利用

最近、アロワナにはマイクロチップが埋め込まれていて個体を識別しています。

アイデア 21: 温度センサーを内蔵したマイクロチップを体内に埋め込み、雌雄のアロワナの温度差を監視する



5. 1 物理的矛盾を解決する標準解の利用

標準4.1.1 検出又は測定する代わりに、測定の必要性がもはや存在しないようにシステムを変更する

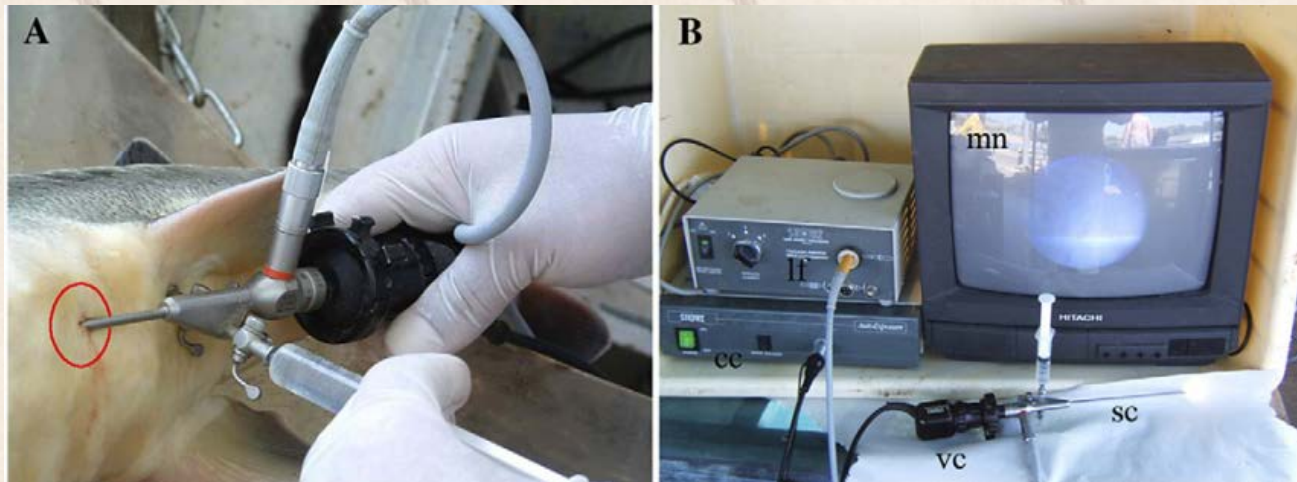
アイデア 22: 雌雄の識別によりアロワナ繁殖の生産性を向上させる代わりにクローニングシステムに変更する

備考：これは良いアイデアのようにも思われますが、最初に最小問題によって定義された条件である、「システムへの最小限の変更」の限界を超えています。また、クローン化されたアロワナは好ましくありません。

5. 2 類型問題の利用

類型の物理矛盾の問題は性別を特定するマーカを有さないチョウザメでも見られます。チョウザメの生殖器を内視鏡観察して性別を特定できます。

アイデア 23: アロワナの性別を特定するために、体の内部に内視鏡を挿入して検査する。



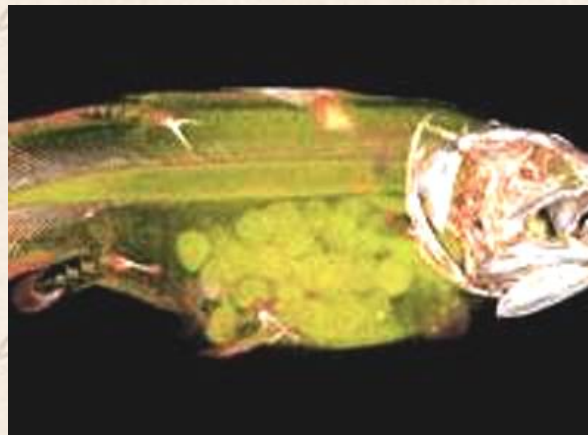
Department of Animal Sciences, The Hebrew University of Jerusalem

5. 3 物理的矛盾解決法の利用

ステップ 3. 3 の物理的矛盾：アロワナの性別を特定するために、観察期間（操作時間）中には生殖器官（操作空間）が露出され、観察期間終了後には、魚の安全を守るために、生殖器官が露出されない

「時間で分離」原理を使用して、

アイデア 24: 観察期間中にCTスキャンを使用する

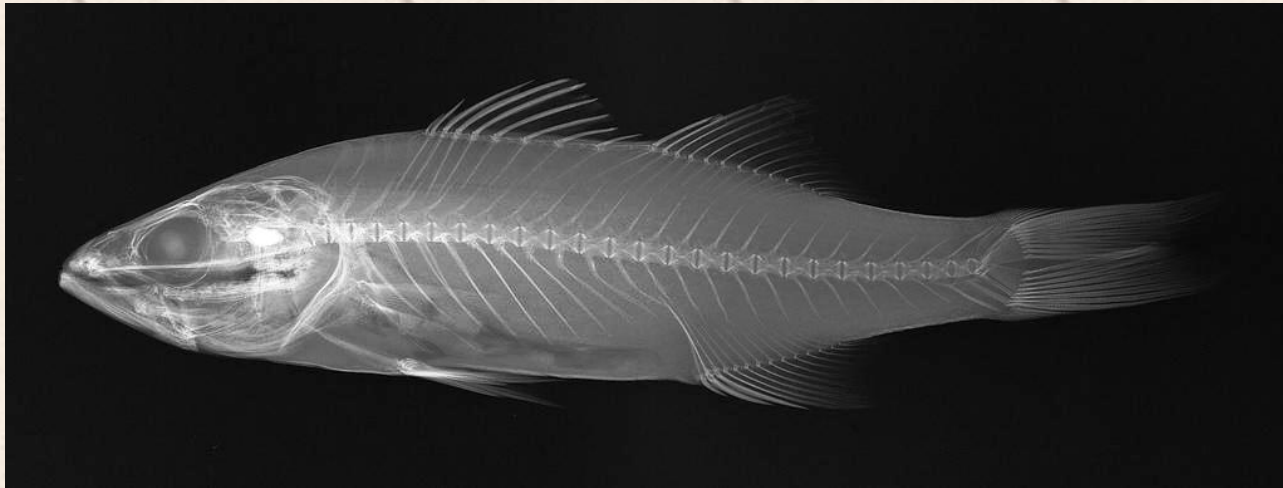


Bioscience and Biotechnology, Tokyo Institute of Technology

5.4 「物理的効果インデックス」の利用

アイデア25: アロワナのうろこを貫通するX線効果を使用して生殖器を露出させる

備考: これは実用的なようですが、魚の安全性が保証されません。



X-Ray Fish Photo from the Smithsonian Institute

第6部 問題の変更または交換

6. 1 問題が解決されたら、物理的解決策から工学的解決策へ転換する。

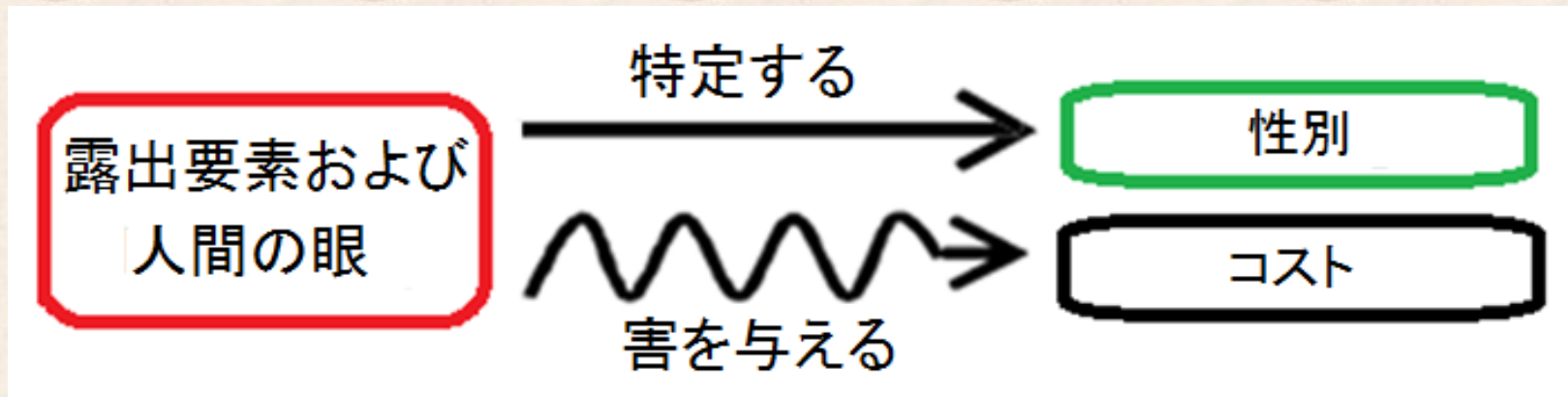
6. 2 問題が解決されなかったら、定式として設定した問題が複数の問題の組合せではないか確認する。

6. 3 それでも問題がまだ解決されなかったら、ステップ1.4における技術矛盾を変えて、問題を変更する。

6. 4 それでも問題がまだ解決されなかったら、ステップ1.1における最小問題の公式表現を再検討する。

6.3 問題の変更

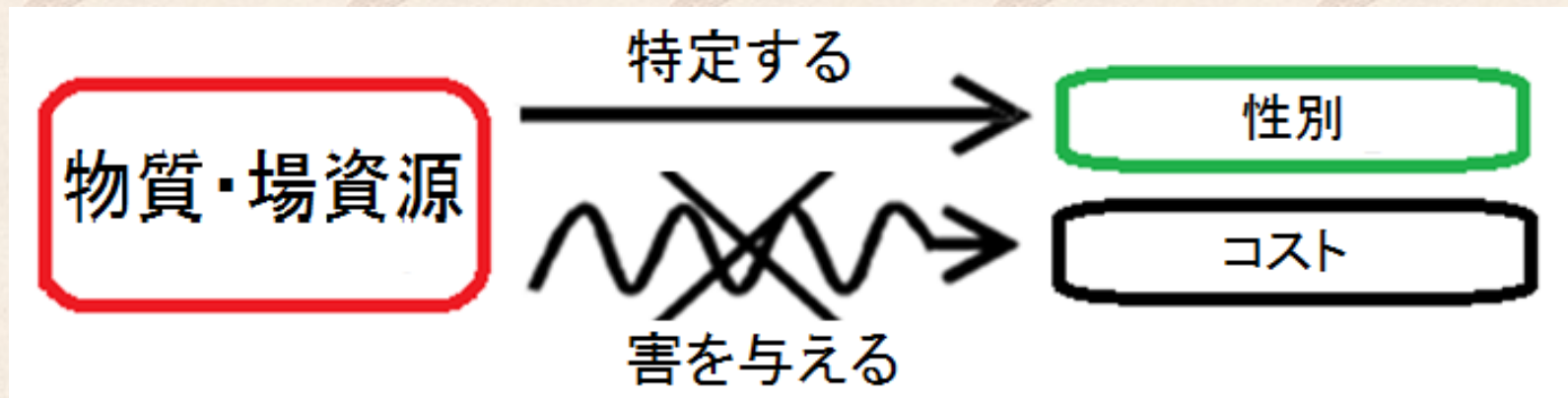
第3部、第4部及び第5部で発想された露出要素（超音波、MRI、内視鏡およびCTスキャン）が良い解決策ですが、これらのツールは外部からシステムに導入された高価な資源であるため、理想的ではありません。理想的な結果に接近していくために、以下のように別の技術矛盾を選択して、有害機能を排除する問題に変更します。



5.1 物理的矛盾を解決する標準解の利用 (繰り返し)

標準解1.2.2 修正されたS1および/またはS2を導入することによって、有害作用を排除する。

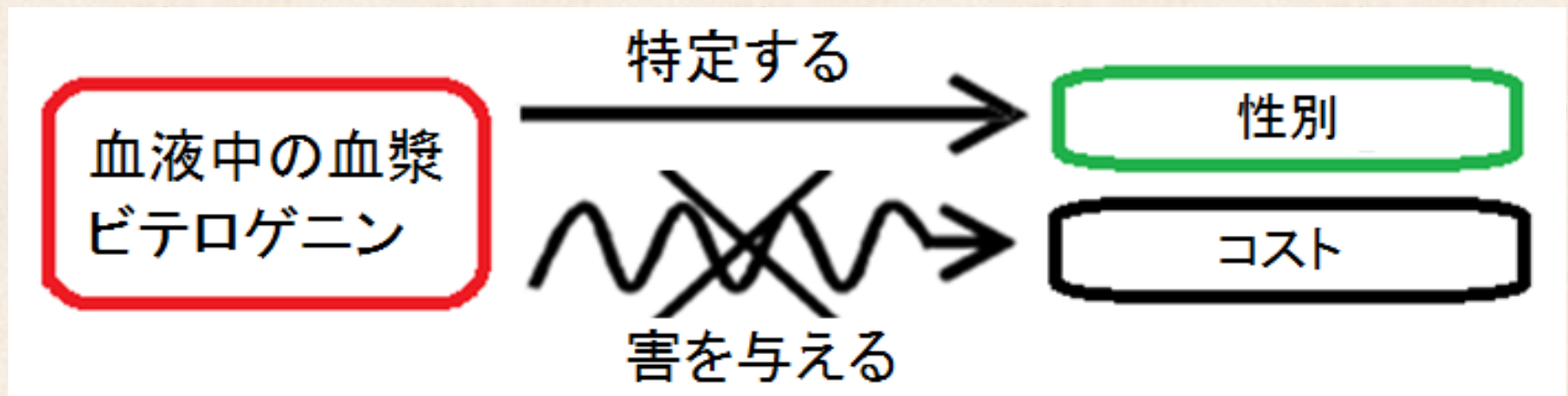
アイデア 26: 使用可能または派生的な物質・場資源を第3の物質として導入し、既存の物質(露出要素)に置き換えることで、問題を解決することができるかもしれない



5.2 類型問題の利用 (繰り返し)

類型の物理矛盾の問題は、他の魚(マグロ、ピラルク)でも見られ、血液中の血漿ビテロゲニンを使用して、雌と雄の魚を区別することができます。

アイデア 27: アロワナの性別を特定するために、血液中の血漿ビテロゲニンを使用する



第7部 物理的矛盾解消方法の分析

7.1 得られた解決策の検証

物質/場を導入する代わりに、既存のまたは派生の物質-場資源(SFR)を適用することが可能である。

ビテロジェニン¹は、自己制御物質と考えることができる。雄のアロワナでは少なく、雌のアロワナでは多い。

7.2 解決策の予備的評価

解決策はIFR-1の主な要件を満たしている。

物理矛盾(6.3)は解決策によって解消される。

新システムには、簡単に制御できる要素が少なくとも1つ含まれている。ビテロジェニンは自己制御される。

“単一サイクル”の問題モデルに対して見つかった解決策が現実の“マルチサイクル”の状況に応用できる。

第7部 物理的矛盾解消方法の分析(つづき)

7.3 解決策の新規性の確認

血漿ビテロゲニンを使用してアロワナの性別を特定する特許はまだ存在しない。

7.4 解決策を実地導入する場合の付随的問題の評価

交配と販売の目的でアロワナの性別を特定するために血漿ビテロゲニンを分析するシステムの付随的問題が解決されなければならないでしょう。

第8部 解決策の活用

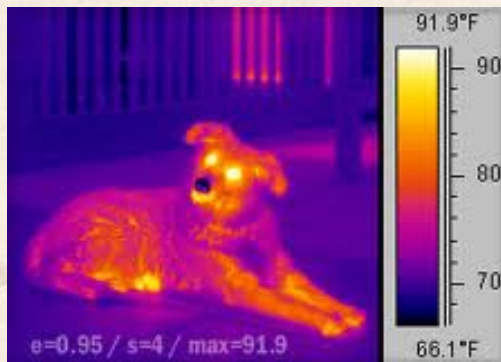
- 8.1 血漿ビテロジェニン分析システムは改善されるべきである
- 8.2 改善したシステムまたはスーパーシステムは、他の観賞魚に適用することができる
- 8.3 この解決策を他の問題の解決に適用する：
 - 一般的な解決原理の定式化
血漿ビテロゲニンを使用した単形動物における性別特定
 - この解決原理を他の問題に直接適用することの検討
アイデア 28: 単形鳥類における性別特定
 - この解決原理と反対の原理を他の問題に適用することの検討
アイデア 29: 雌アロワナを増やすのに血漿ビテロゲニンを使うことが考えられる

第8部 解決策の活用 (つづき)

- 解決策のすべての可能な修正を含む形態的マトリックスを作成し、マトリックスのすべての組み合わせを考えてみる。例えば、“パーツの配置”と“使用場”など。

アイデア 30: 魚体と熱場を組み合わせ、赤外線カメラを用いて魚の体温パターンを検出する

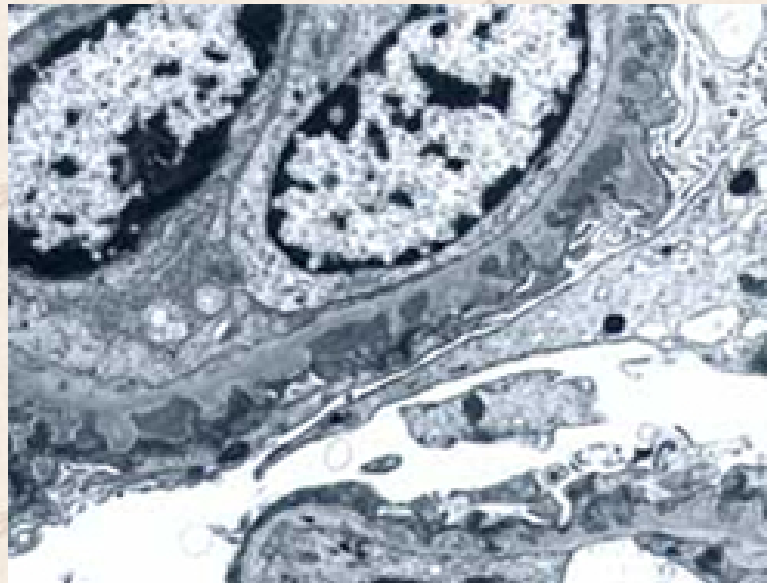
アイデア 31: 魚体と光場を組み合わせ、ナイトビジョンカメラを用いて夜間に魚の体内から放射される光のパターンを検出する



第8部 解決策の活用 (つづき)

- システムまたはその主要部分の寸法がゼロに近づくか、無限に伸びた場合の効果を想像し、寸法を変更することによって得られる解決原理に対する変更を検討する

アイデア 32: 電子顕微鏡を使用し、アロワナの細胞内の染色体を観察する



第9部 問題解決プロセスの分析

9.1 実際に行なった問題解決の流れをARIZに沿った理論的な流れと比較する。差異がある場合にはその内容を記録する。

ステップ 5.2 これまでにARIZを適用して解決された問題でまだ標準解になっていないものの中から現在の問題と似ているものを探し、それを手がかりとして問題を解決できないか検討する

本ケースでは、類似した物理矛盾の問題に対する解決策は**ARIZを用いて得られたものではありません。**

第9部 問題解決プロセスの分析 (つづき)

9.2 今回行なった問題解決結果をTRIZの知識ベース（標準解、発明原理、物理的効果インデックス）と比較検討する。今回の解決策の考え方が知識ベースに含まれていない場合には、その内容を予備的情報ストックに記入する。

標準解 1.2.2 修正されたS1および/またはS2を導入することによって、有害作用を排除する

ステップ5.1では、利用可能または派生的な物質—場資源から**新しい**物質(S3)が露光要素を**置き換える**ために導入され、有害作用を排除しました。

終わりに

アロワナの性別特定問題のための解決策を発明問題解決のアルゴリズム (ARIZ) を用いて、体系的に得ることができました。

30以上のアイデアがARIZの第1部から第9部までのプロセスに沿って発想されました。解決策が徐々に浮かび上がり、理想的な最終結果に近づくにつれてより明確で良いものになっていきました。最終的に、アロワナの血液中の血漿ビテロゲニンを使用するなど、いくつかの有望な解決策が提案されています。

解決策が現実世界に適用できるのみならず、解決策に到達するまでのプロセスは、TRIZに興味を持ち、自分の問題を解決するためにどのようにARIZを適用したらよいか学びたい人にとって役立つことでしょう。

著者は、この仕事が適切な方向に、TRIZの進歩および一層の発展に貢献されることを願っています。

謝辞

著者は最後に、際限なくTRIZの推進に専念し、この仕事に対してARIZを使って挑戦するよう貴重なアドバイスでご指導くださいました黒澤慎輔先生に感謝の意を表したいと思います。

参考文献

1. ARIZ-85C, <http://www.trizstudy.com>
2. Tools of Classical TRIZ, <http://www.ideationtriz.com/publication.asp>
3. Breeding Technique of Malaysian Golden Arowana, [http://www.aquarticles.com/articles/breeding/Suleiman Breeding Asian Arowana.html](http://www.aquarticles.com/articles/breeding/Suleiman_Breeding_Asian_Arowana.html)
4. Su-Field: An Educational Example of Inventive Problem Solving in Electrical Engineering, <http://www.triz-journal.com/archives/2006/01/05.pdf>
5. The use of ultrasound in the aquaculture industry, [http://www.bcfultrasound.com/ultrasound products/applications/fish](http://www.bcfultrasound.com/ultrasound_products/applications/fish)
6. Use of endoscopy for gender and ovarian stage determinations in Russian sturgeon, http://departments.agri.huji.ac.il/animal/staff/faculty_staff/sivan_berta/publications/19-Hurvitz-et-al-2007-aquaculture.pdf
7. X-Ray Fish Photos from the Smithsonian Institute, <http://www.sites.si.edu/exhibitions/exhibits/ichthyo/>
8. First CT scan made of eggs inside coelacanth, http://www.evolution.bio.titech.ac.jp/index_e.html
9. MRI fish, Earthguide & Scripps Institution of Oceanography, <http://earthguide.ucsd.edu/fishes/technology/technology.html>
10. Gender determination in the Arapaimagigas using plasma vitellogenin, <http://www.riiaamazonia.org/PUBS/T18.pdf>

ご清聴ありがとうございました.

TriZit@gmail.com

<http://www.trizthailand.com>