



CESA Developers Conference 2009

# 生態学的ゲームAI論

これからのゲームAIのための新しい基礎

CEDEC 2009 講演

三宅 陽一郎

[y\\_miyake@fromsoftware.co.jp](mailto:y_miyake@fromsoftware.co.jp)

9/1/2009

**FROM SOFTWARE**

# 講演内容

第1部 バイオフィリア (10分)

第2部 生態学

1章 アフォーダンス (15分)

2章 環世界 (10分)

付録: KGC2009 講演資料(英語)

生物はその世界に根を張って生きている



[http://pub.ne.jp/snowleopard/?cat\\_id=101156](http://pub.ne.jp/snowleopard/?cat_id=101156)

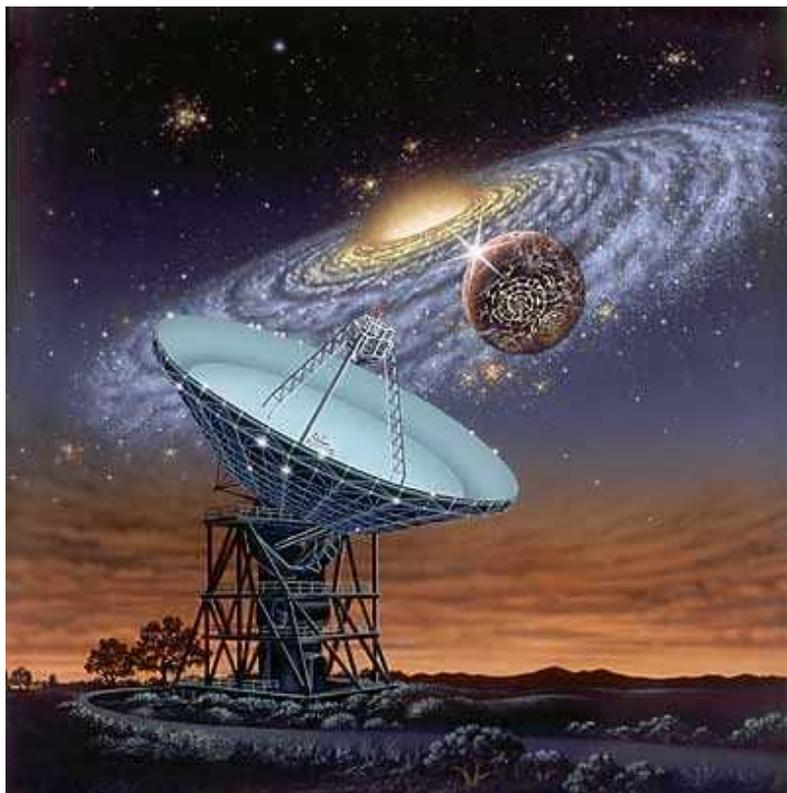


その生物はその世界に根付いていること

# 第一部 バイオフィリア

なぜ人はゲームに知性を求めるか？

# なぜ人はゲームに知性を求めるか？



<http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>

宇宙に知性を求める

=



ゲームAI連続セミナー <http://codezine.jp/article/detail/1003>

ゲームに知性を求める

人は自分の経験する世界に生命や知性を求めようとする傾向を持つ

バイオフィリア

E.O.ウィルソン「バイオフィリア」

# 人間の知性に対する感覚

人は本来的に、その対象が知性であるか、ないかを、明確に、そして精緻に判断する直感的能力を持っている。

知性に対する判断能力

チューリング・テストは、AIの能力と同時に、人間の知性に対する判断能力の高さと特性を、測るためのテスト。

+

人は自分の経験する世界に生命や知性を求めようとする傾向を持つ

バイオフィリア(生物、生命への嗜好)

# 人間の住まうメディアの変化

より安全な人間だけの世界を求めて、  
内へ内へ、都市へバーチャルワールドへと  
進んで来た。



自然



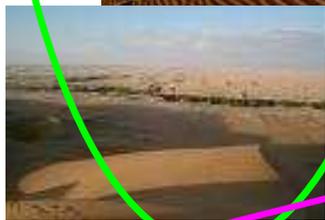
都市



Virtual World・  
ゲーム

# 人間の住まうメディアの変化

より安全な人間だけの世界を求めて、  
内へ内へ、都市へバーチャルワールドへと  
進んで来た。



自然



都市



Virtual World・  
ゲーム

そうすることで、失ったもの、得たもの、とは何か？

# デジタルゲームのためのテトラッド

人間が作った人工物が持つ普遍的な4つの影響の形式  
(マルクーハンのテトラッド)

人間のための安全な世界  
を強化

現実と仮想世界  
を反転

人間の原初的・本能的な欲求  
を回復

肉体的な労働、現実感  
を衰退

# デジタルゲームのためのテトラッド

人間が作った人工物が持つ普遍的な4つの影響の形式  
(マルクーハンのテトラッド)

人間のための安全な世界  
を強化

メカフォリア

現実と仮想世界  
を反転

人間の原初的・本能的な欲求  
を回復

バイオフィリア

肉体的な労働、現実感  
を衰退

# 人間の住まうメディアの変化

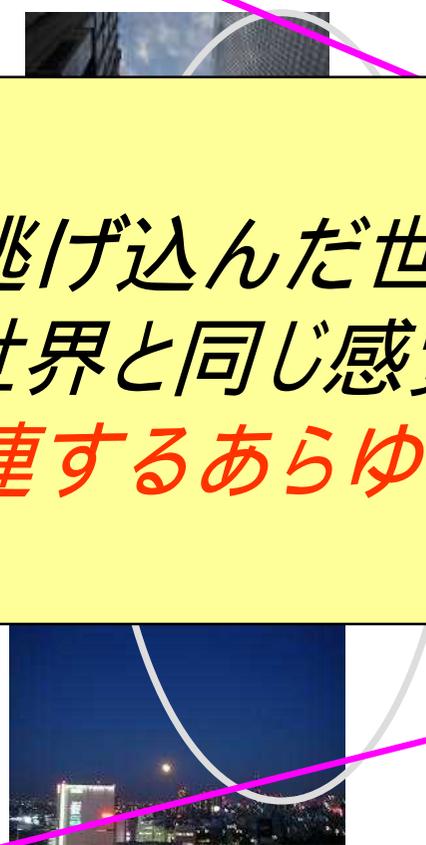
より安全な人間だけの世界を求めて、  
内へ内へ、都市へバーチャルワールドへと  
進んで来た。

人は逃げ込んだ世界の先でも、  
リアルな世界と同じ感覚の再現を望む。  
= 生命に関連するあらゆるものの再現を望む

そうすることで、失ったもの、得たもの、とは何か？



自然



都市

Virtual World・  
ゲーム

# バイオフィリア

人は無意識に自分たちの生きている空間に知性を求める。  
生物、生命により添って、進化して来た歴史を持つ。



現実のジャングル



Far Cry

世界 = 環境 + 生物(知性体)を無意識に求める。

# レベルデザインとバイオフィリア

## レベルデザインのバランス

有機(バイオフィリア)



無機(メカフィリア)

レベルデザインは無意識のうちに、メカフィリアとバイオフィリアのバランスの取れたものになっていることが多い。

# レベルデザインとバイオフィリア

## ステージ全体のバランス

*Killzone*



無機 (メカフィリア)



有機 (バイオフィリア)



(混合型)

スーパー  
マリオ1

野外

スーパー  
マリオ2

人工地下

スーパー  
マリオ3

樹の上(空)

マリオ4

人工地下

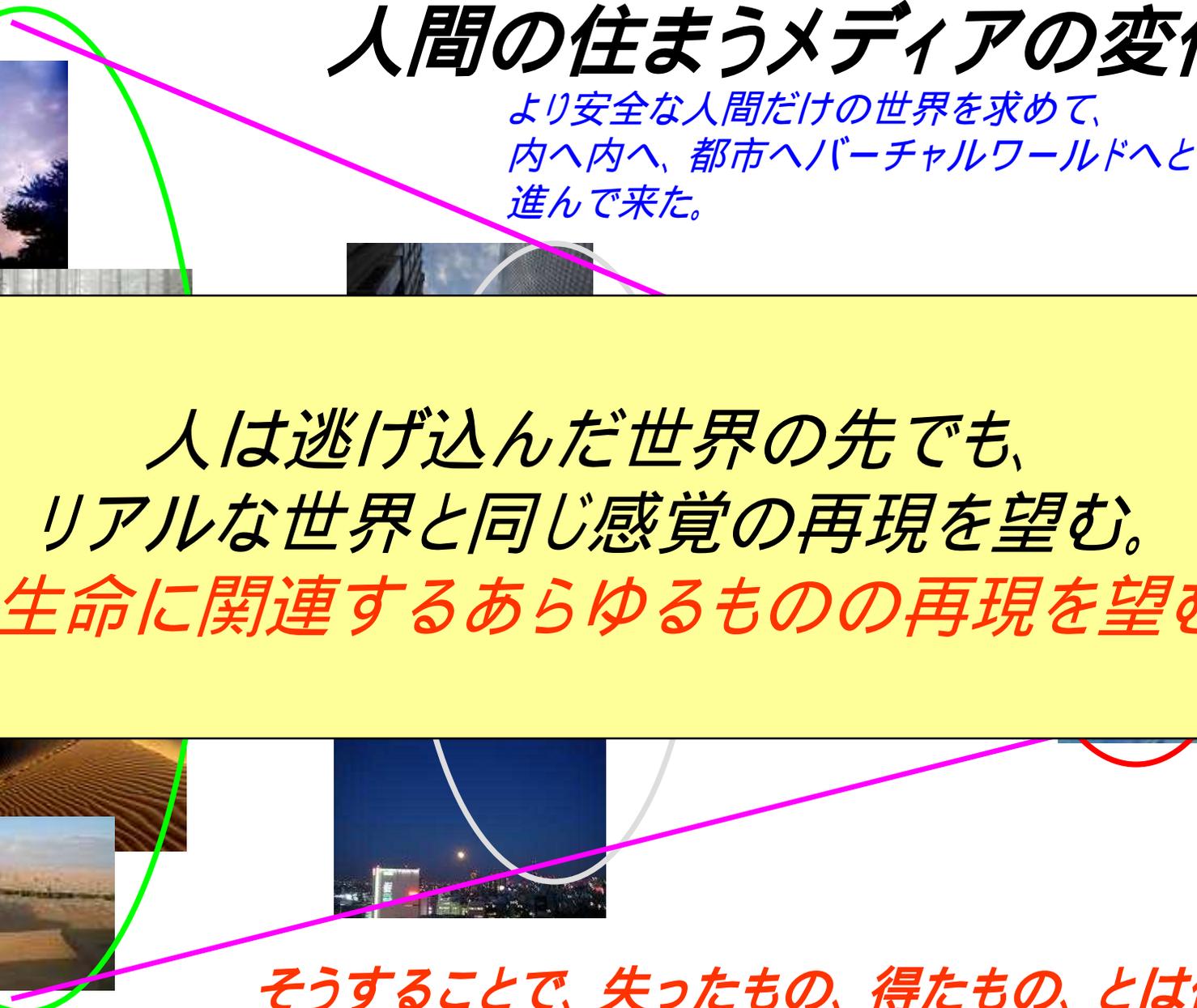
複数のステージを持つゲームは、有機と無機のバランスを取る

# 人間の住まうメディアの変化

より安全な人間だけの世界を求めて、  
内へ内へ、都市へバーチャルワールドへと  
進んで来た。

人は逃げ込んだ世界の先でも、  
リアルな世界と同じ感覚の再現を望む。  
= 生命に関連するあらゆるものの再現を望む。

そうすることで、失ったもの、得たもの、とは何か？



自然

都市

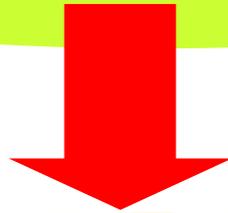
Virtual World・  
ゲーム

# 人がAIに求めるもの

人と人が持ち得るあらゆる感情・関係性の再現を求める



愛、罪、愛着、憎悪、憧れ、軽蔑、  
無関心、執着、忘却、嫉妬、  
信頼、疑惑、恋愛、殺意...



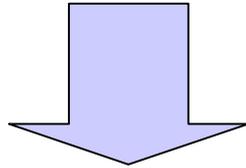
AI

愛、罪、愛着、憎悪、憧れ、軽蔑、  
無関心、執着、忘却、嫉妬、  
信頼、疑惑、恋愛、殺意...



# 人がAIに求めるもの

それもまた、*生命に満ちた何か(バイオフィリア)*

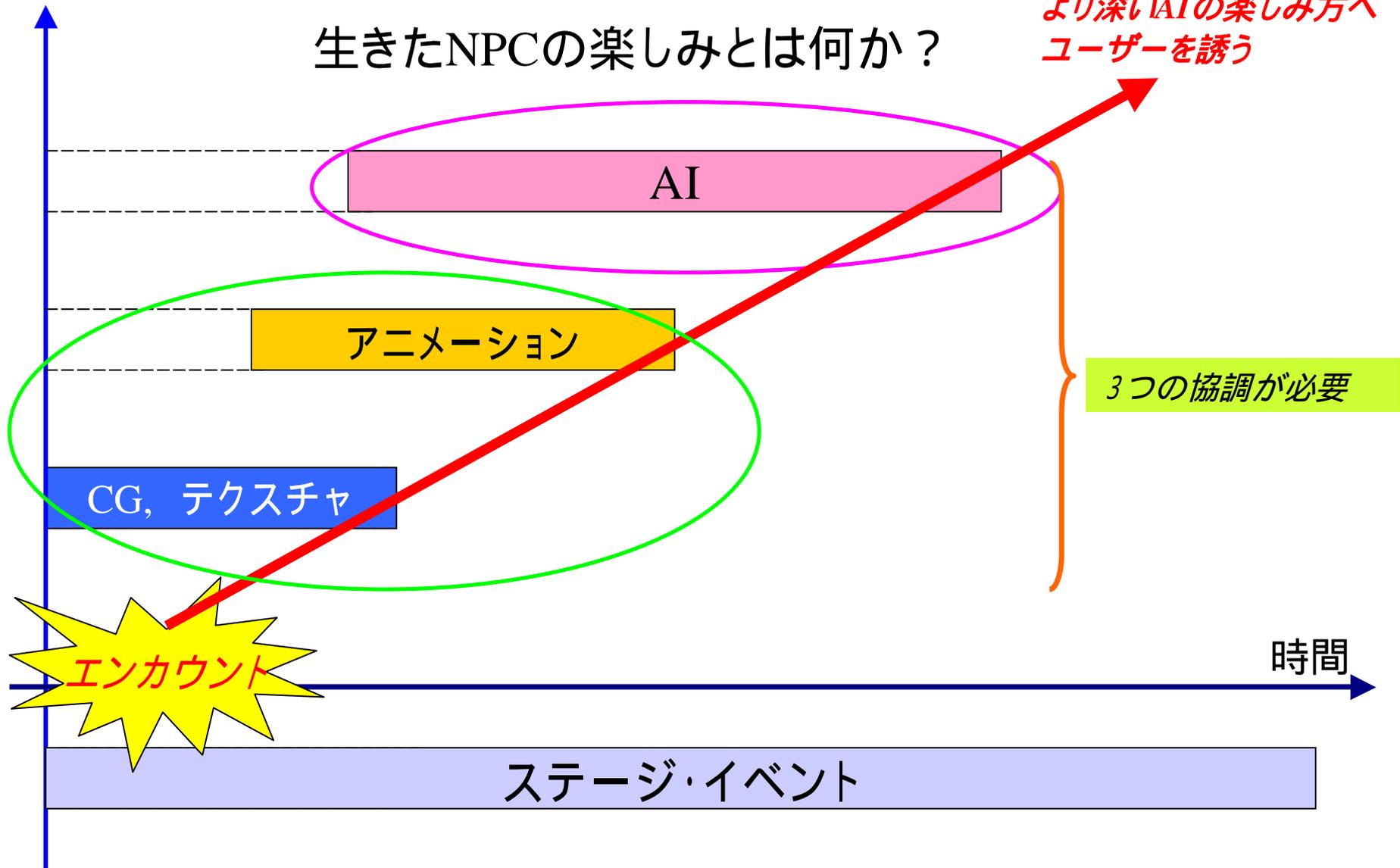


しかし多く、外見は非常に有機的でも、  
ゲームに出るAIは非常に無機的な知性

# バイオフィリア

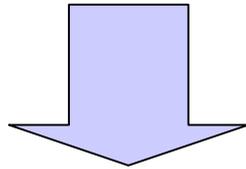
生きたNPCの楽しみとは何か？

より深いIAIの楽しみ方へ  
ユーザーを誘う

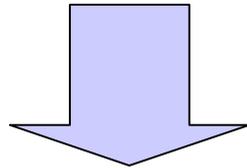


# 人がAIに求めるもの

それもまた、*生命に満ちた何か(バイオフィリア)*



しかし多く、外見は非常に有機的でも、  
ゲームに出るAIは非常に無機的な知性



不満・ストレス (*満たされぬバイオフィリア*)

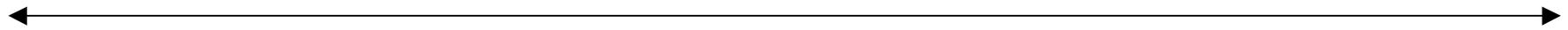
では、一体ゲームのAIはどのような方向に発展すべきか？

# ゲームAIの進むべき方向

より生命に近い方へ

メカフィリア

バイオフィリア



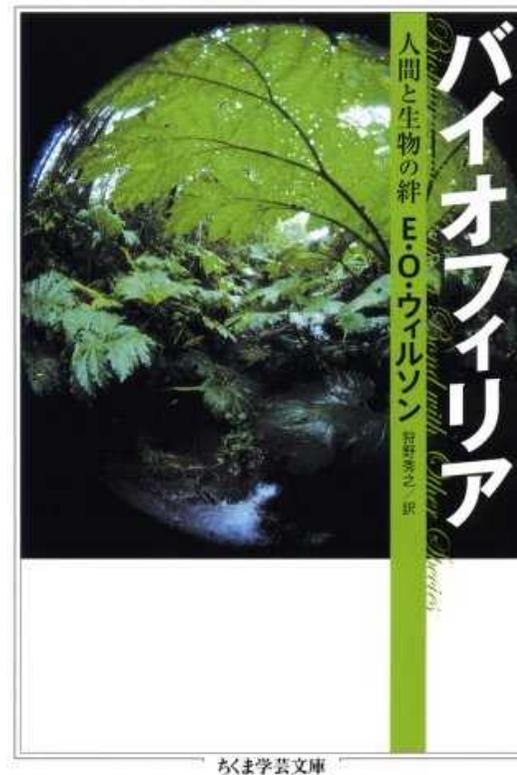
賢さだけではない、  
より生物ライクな知性を実現する。



生態学的アプローチ

# 参考文献

(1) E.O.ウィルソン 「バイオフィリア」 (ちくま学芸文庫)



# 参考文献

- (1) 徳田幸徳、“情報システムにおける自律分散協調論“、P.14-17 マクルーハン理論：  
4つの普遍的な質問  
<http://www soi wide ad jp/class/20050003/slides/03/14.html>
- (2) 徳田幸徳、“ユビキタス社会の展望と課題“、P.9-11、ユビキタスコンピューティング  
[http://www pref gifu lg jp/pref/s11120/seikabutu/houkoku/siryoushu5\\_6kouen1.pdf](http://www pref gifu lg jp/pref/s11120/seikabutu/houkoku/siryoushu5_6kouen1.pdf)
- (3) マーシャル・マクルーハン、「メディアの法則」 (NTT出版)



# 参考文献

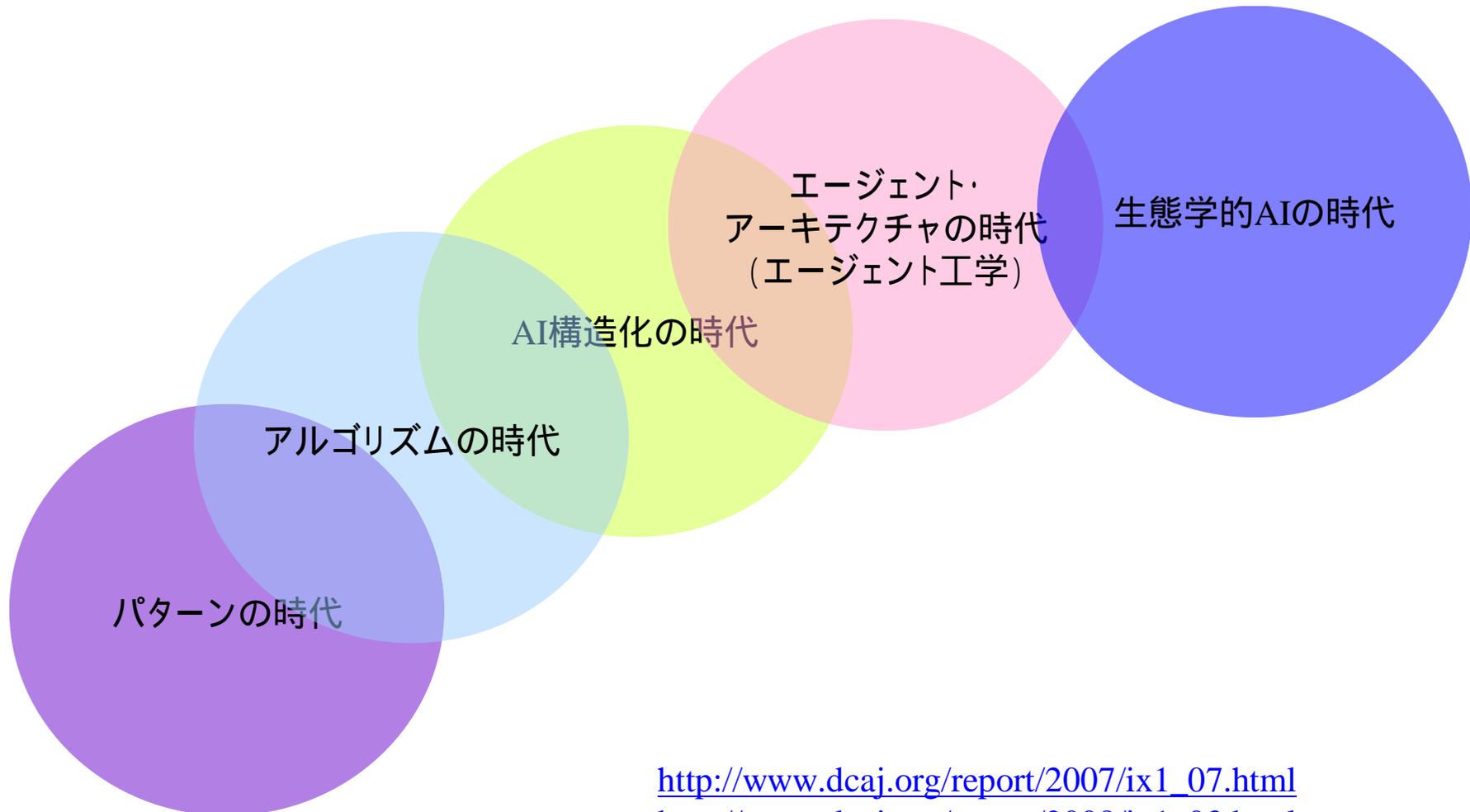
- (1) コンラート・ローレンツ 「鏡の背面」 (新思索社)
- (2) コンラート・ローレンツ 「攻撃」 (みすず書房)



# 第2部 生態学

# ゲームAIの歴史

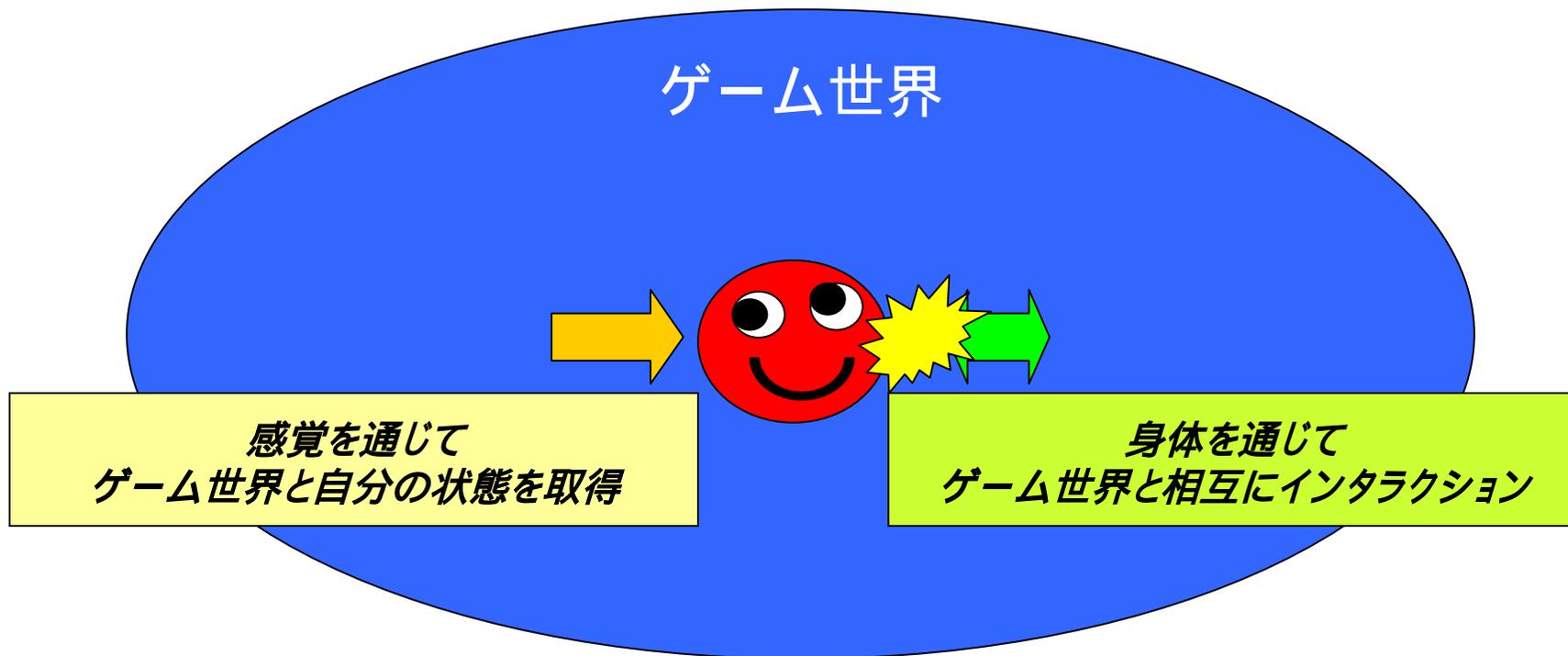
- 過去、現在、未来 -



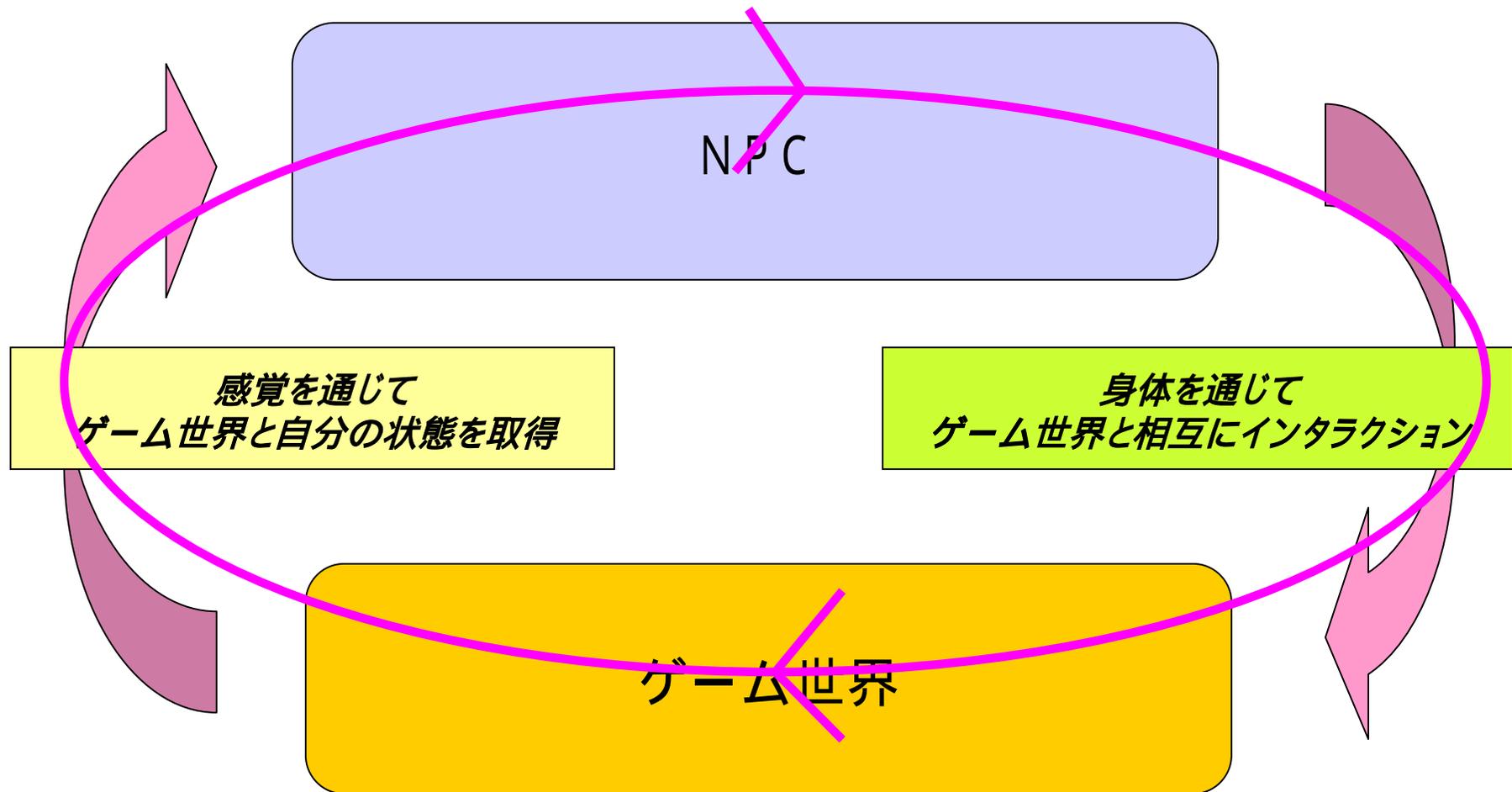
[http://www.dcaj.org/report/2007/ix1\\_07.html](http://www.dcaj.org/report/2007/ix1_07.html)

[http://www.dcaj.org/report/2008/ix1\\_03.html](http://www.dcaj.org/report/2008/ix1_03.html)

# ゲームにおけるエージェント



# エージェント・アーキテクチャーにおける情報の流れ

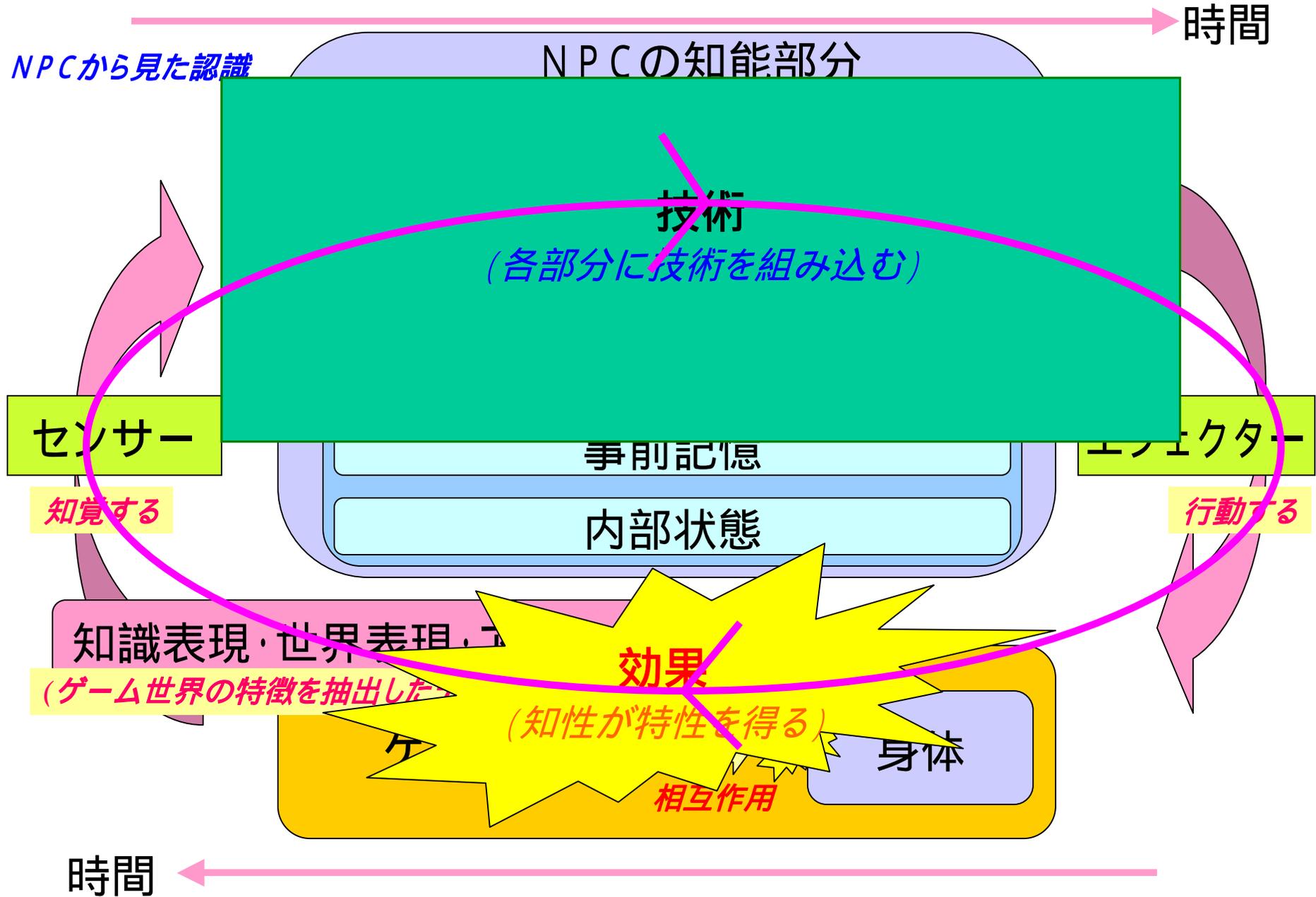


この情報の流れに仕掛けをしてみよう！

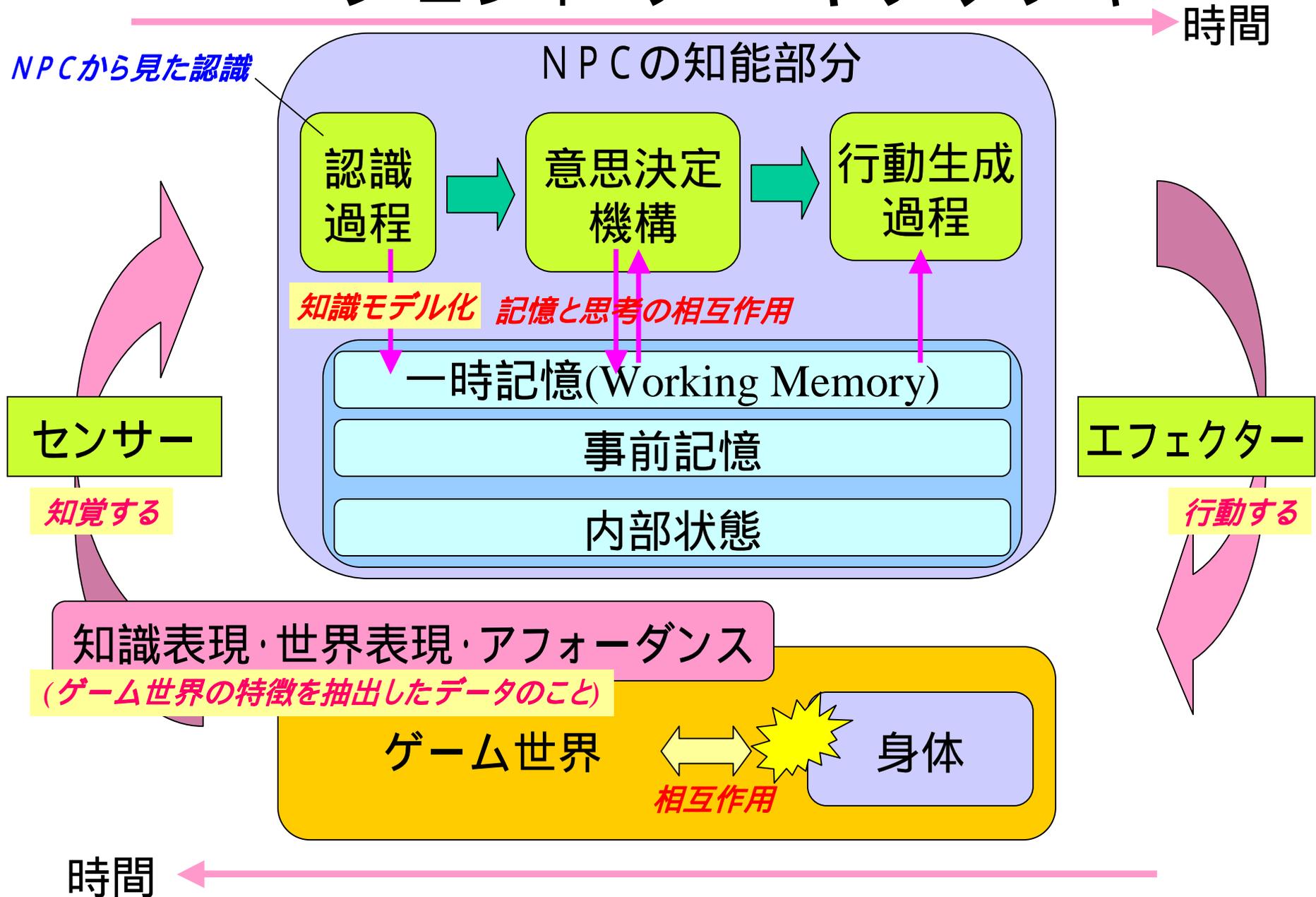
「人工知能 = からくり」

作り方を勉強しよう！

# 説明の仕方『技術を仕掛けて効果を得る』



# エージェント・アーキテクチャ



# エージェント・アーキテクチャの数々



HALO



ゲームAI連続セミナー(第2～4回)、CEDEC2008で解説、人工知能学会誌の解説論文、などで解説

# エージェント・アーキテクチャを発展させる

エージェント・アーキテクチャ

整合的  
合目的  
意識的

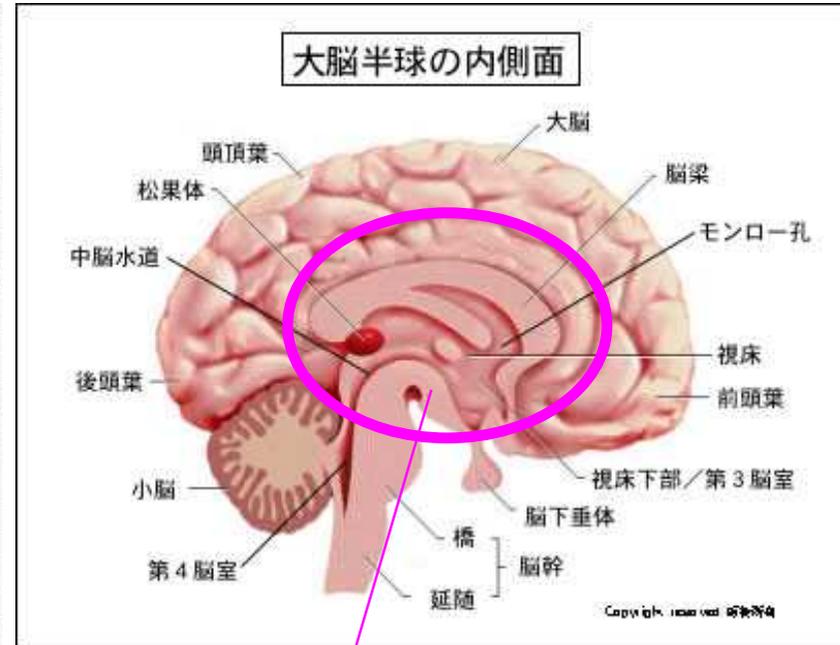
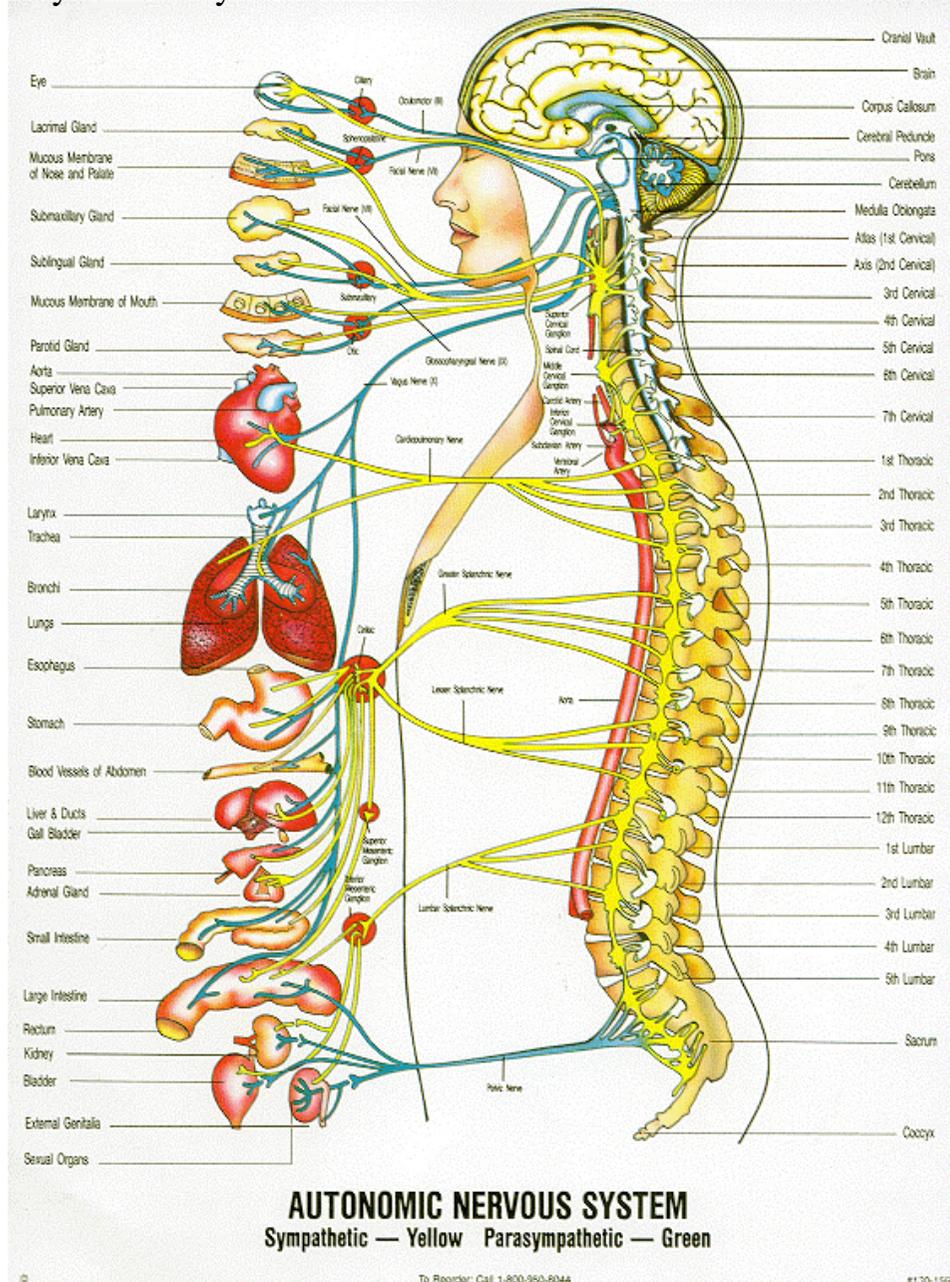
より生命の知性に近づきたい

+ 生態学的知識に基づく技術

生態学 (ecology) = 生物と環境の間の相互作用を扱う学問分野

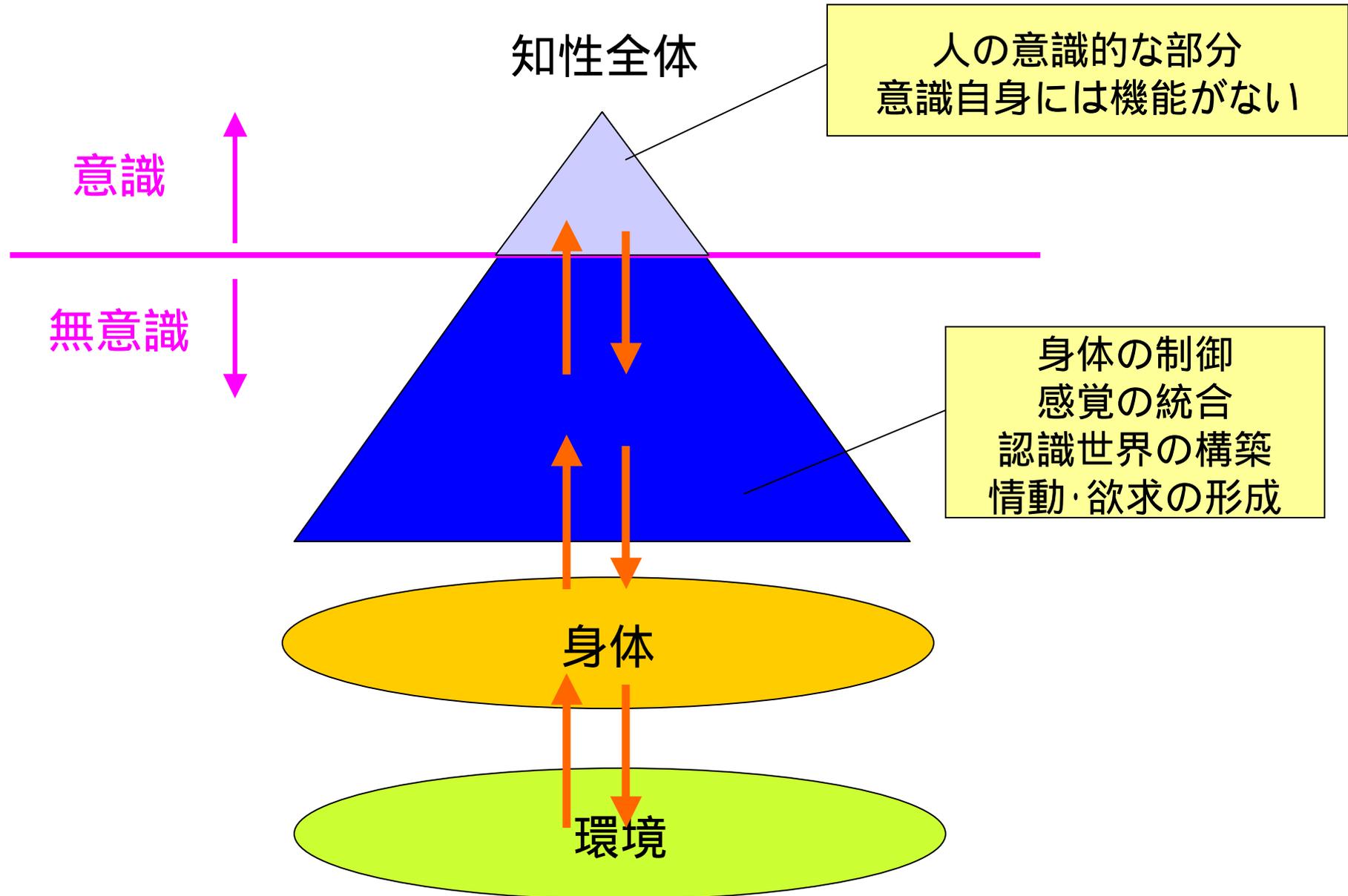
# 身体と脳

Gray's anatomy

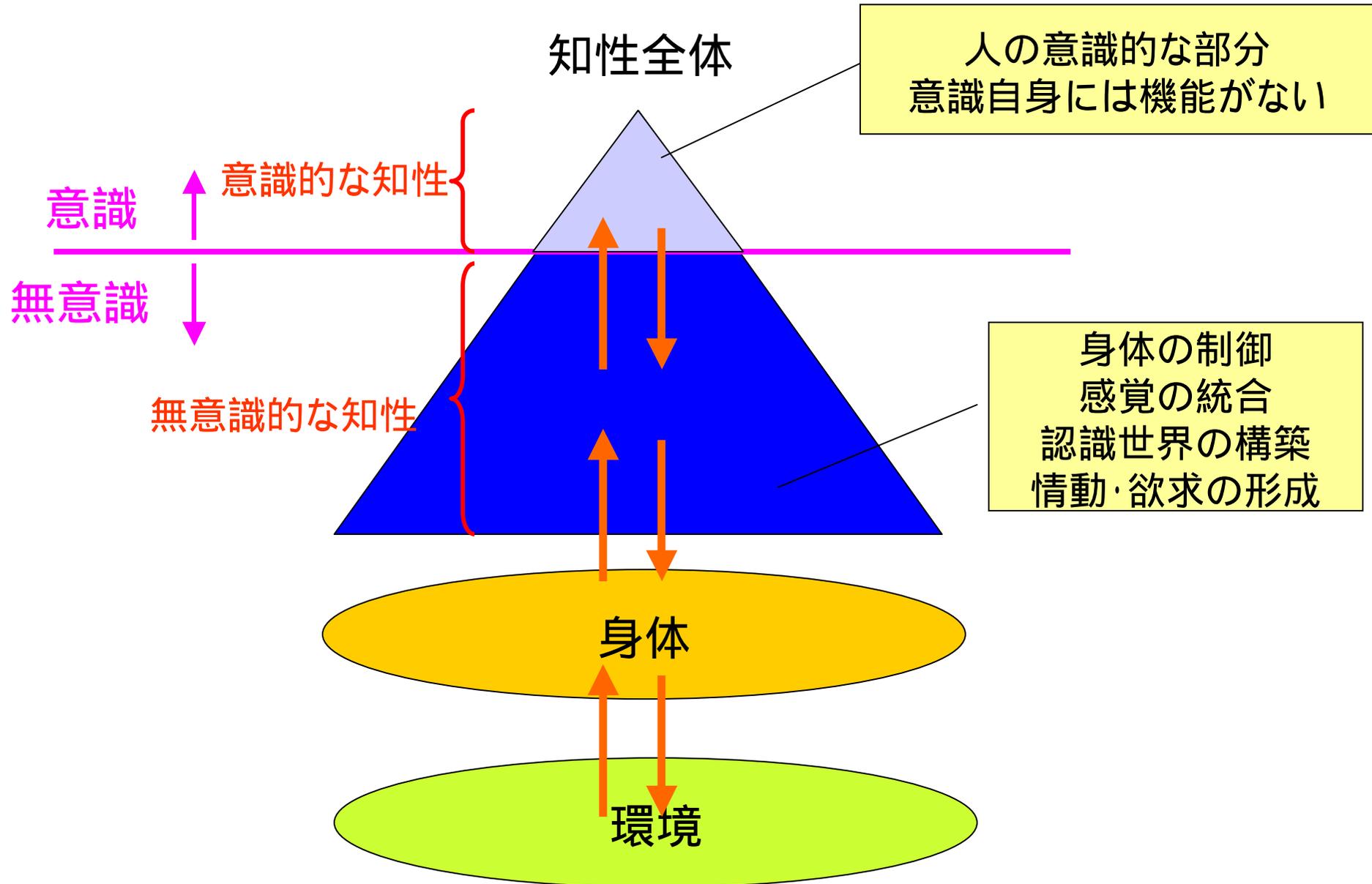


人間の脳は、古い脳の上に、  
 或いは、古い脳の間を縫うように、  
 新しい脳の部分が発展して来た。  
 体をコントロールする部位や、  
 動物的衝動は普段、抑圧されている。

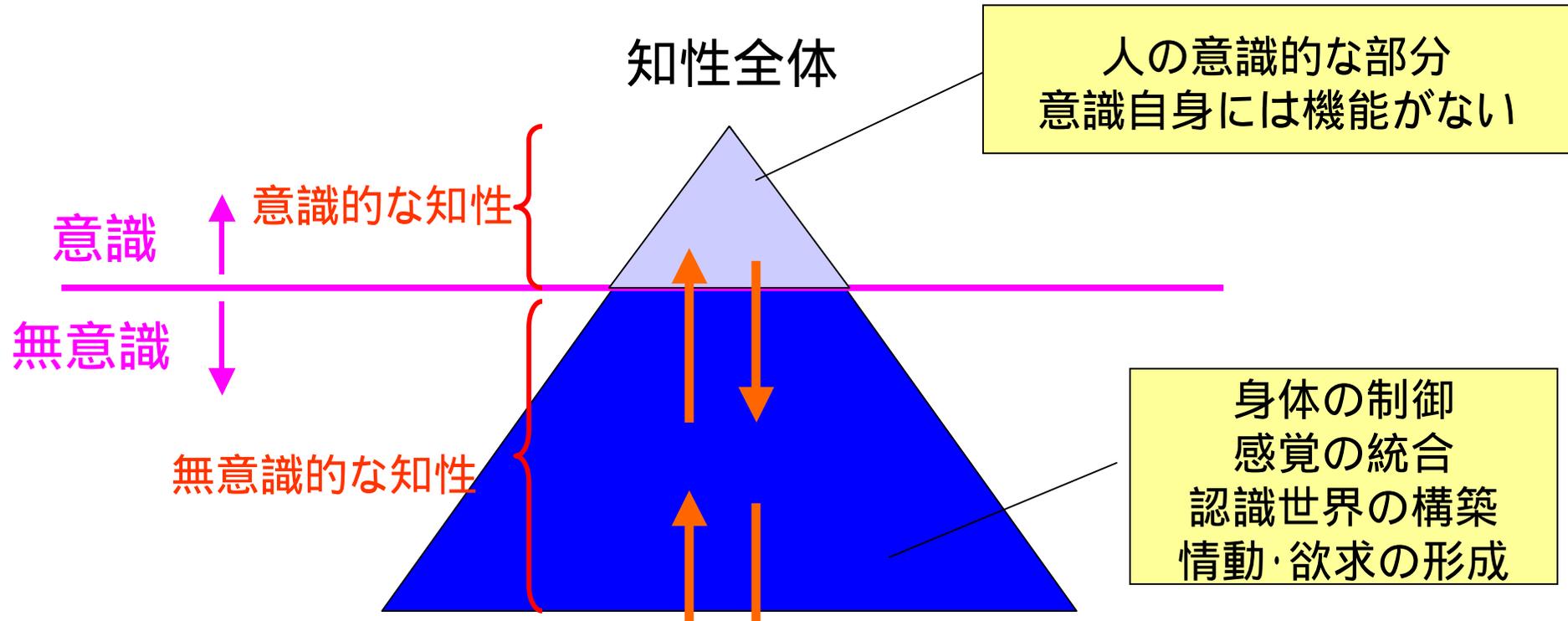
# 意識/無意識の知性



# 意識/無意識の知性

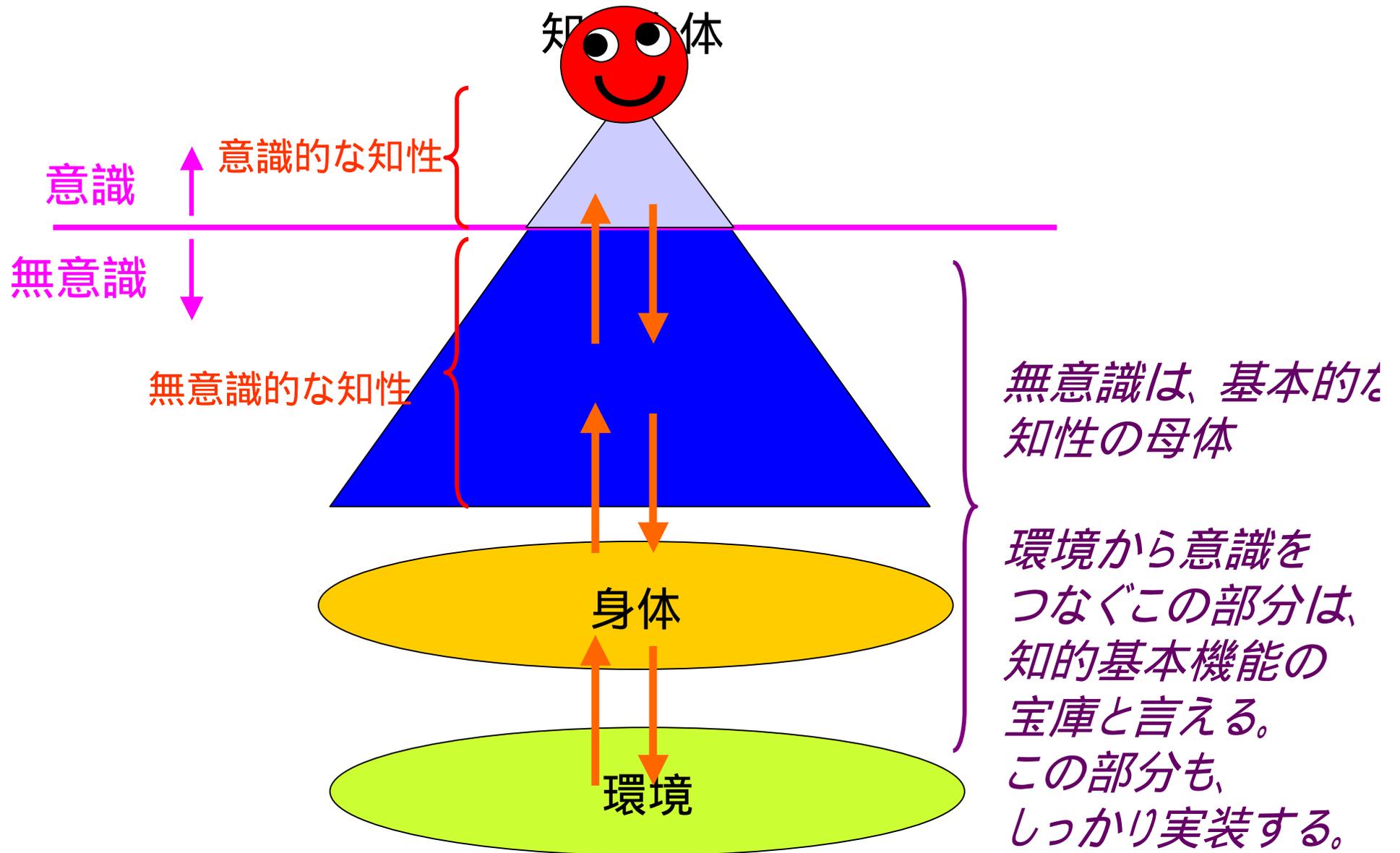


# 意識/無意識の知性

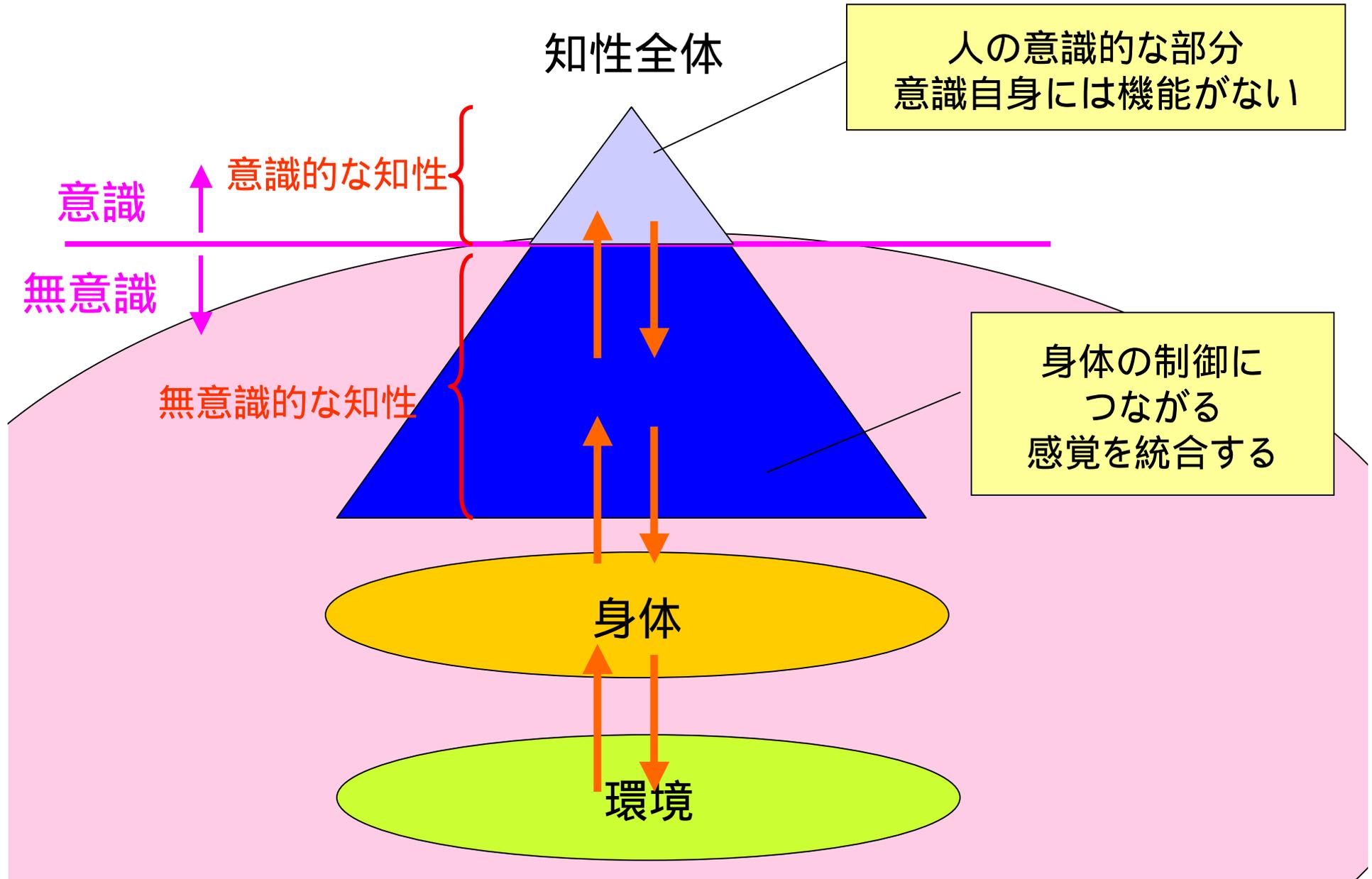


我々が意識している知性は、全体の知性の一部であり、かつ、かなり表層の知性である。  
知性の母体は、無意識で構成されており、その上に、意識的な知性がある。

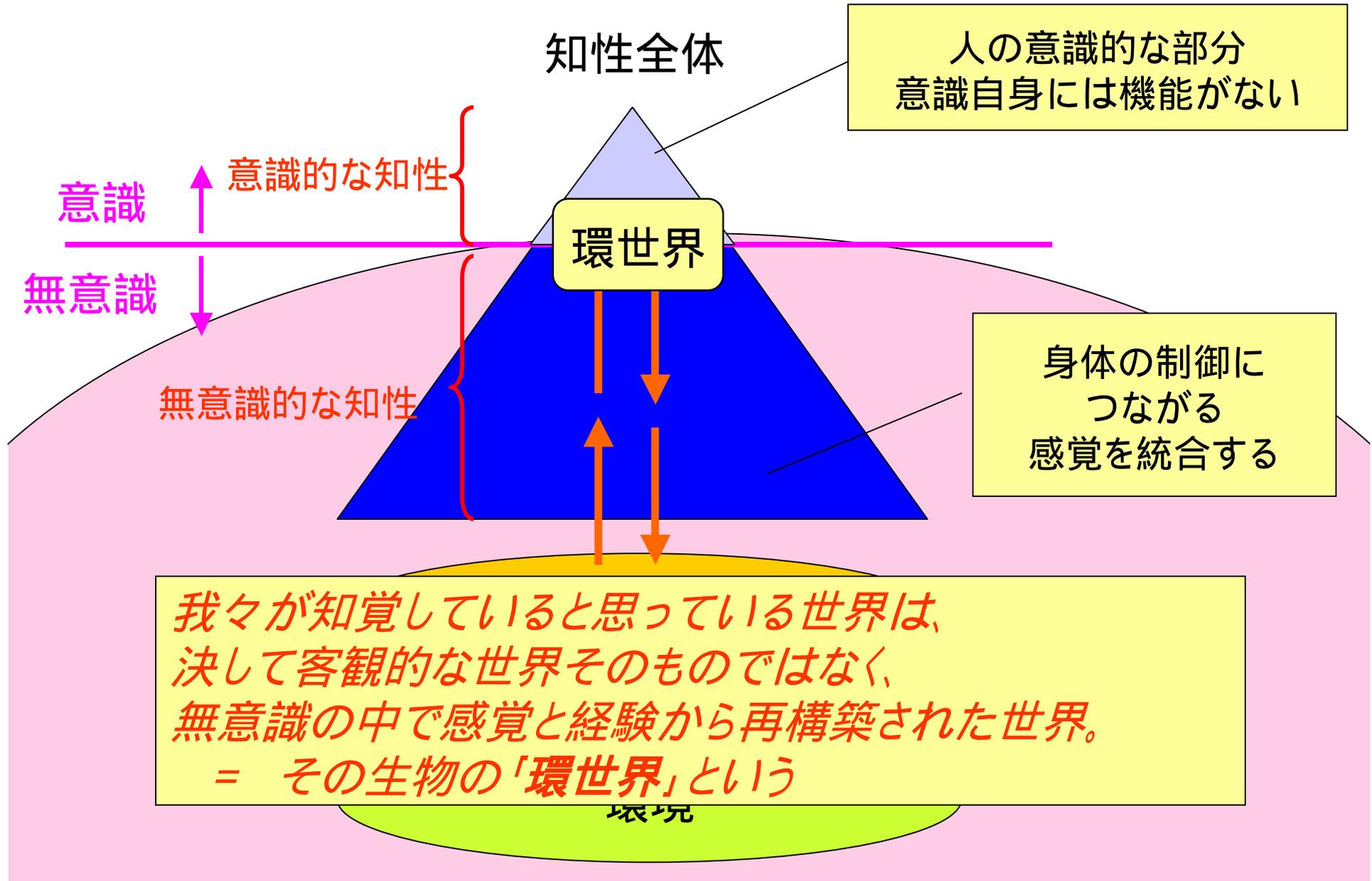
# 意識/無意識の知性



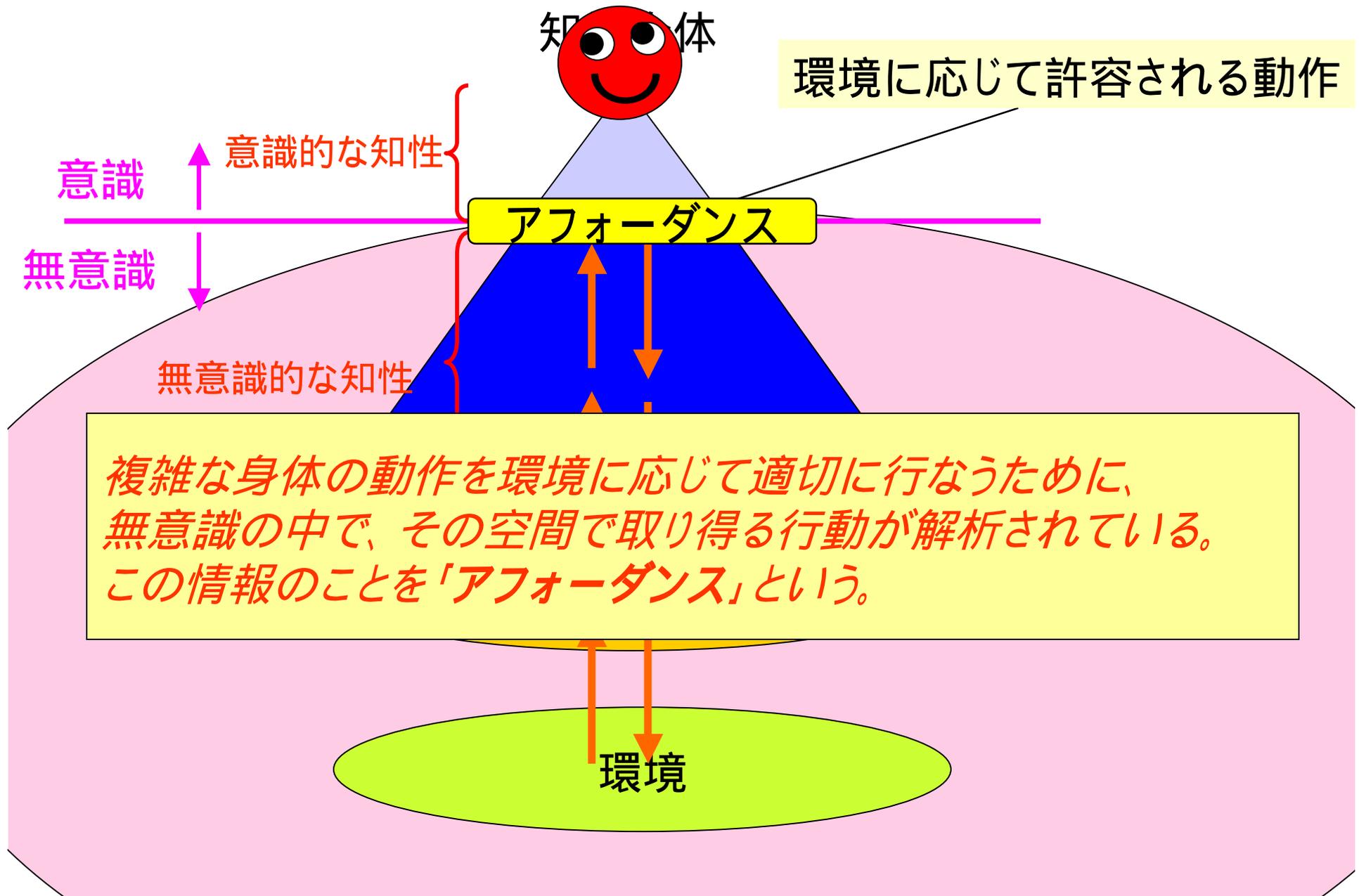
# 意識/無意識の知性



# 意識/無意識の知性



# 意識/無意識の知性



# 知性にとって空間は単なる空間でない

## アフォーダンス

空間は行為によって解釈されている

## 環世界

知性が認識して使用しているのは、  
客観的世界ではなく主観的世界  
我々は自分が産み出したイリュージョンを  
通じて行動している。

生態学的ゲームAIへ

# 講演内容

第1部 バイオフィリア (10分)

第2部 生態学

1章 アフォーダンス (15分)

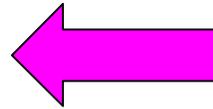
2章 環世界 (10分)

# 第二部 生態学

第一章 アフォーダンス

第二章 環世界

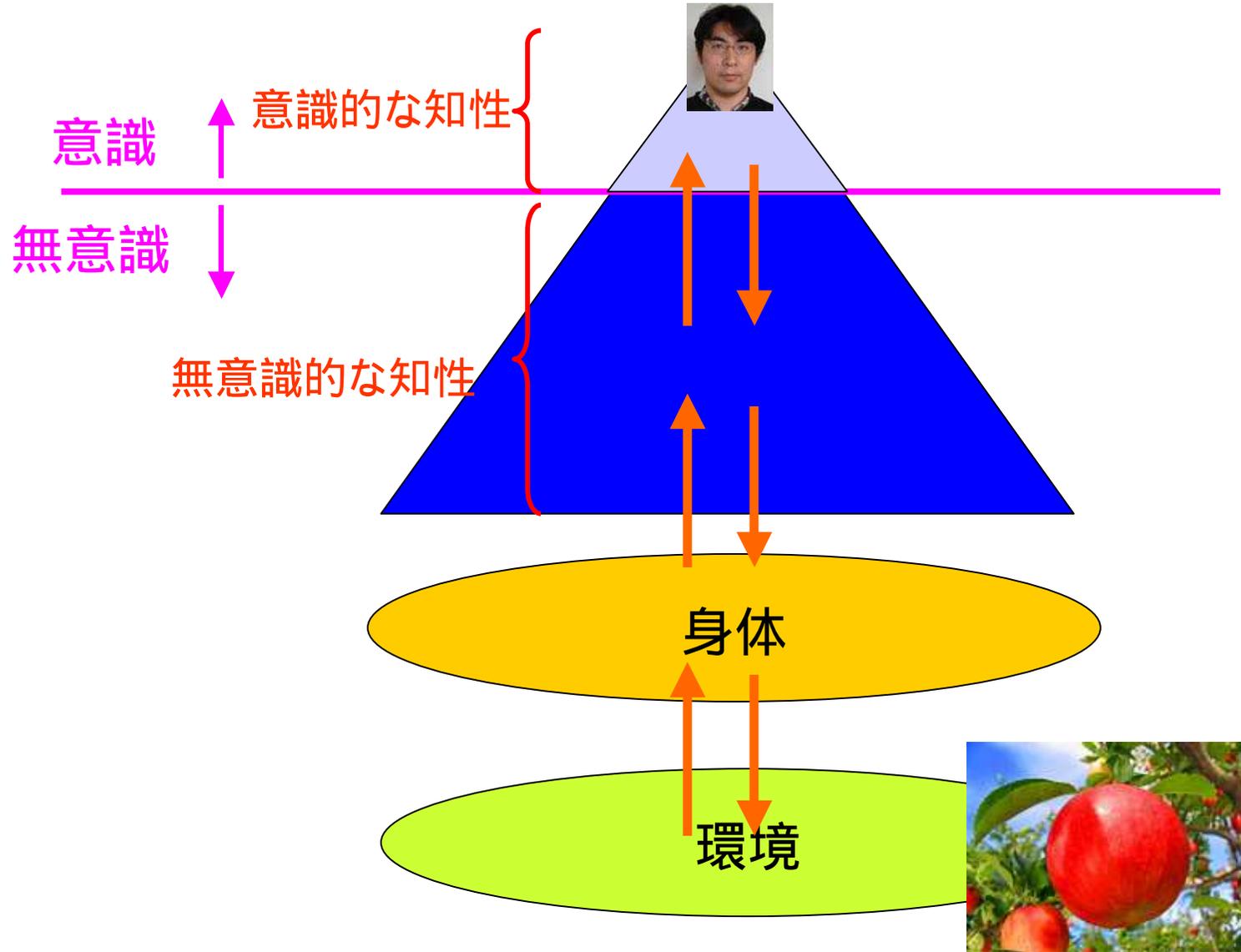
# アフォーダンス



- リンゴを見たとき、なぜリンゴを判断できるか？（学習）
- リンゴを見たとき、なぜ食べることができるか？（学習）
- リンゴを見たとき、なぜ唾液が出るか？（無意識）

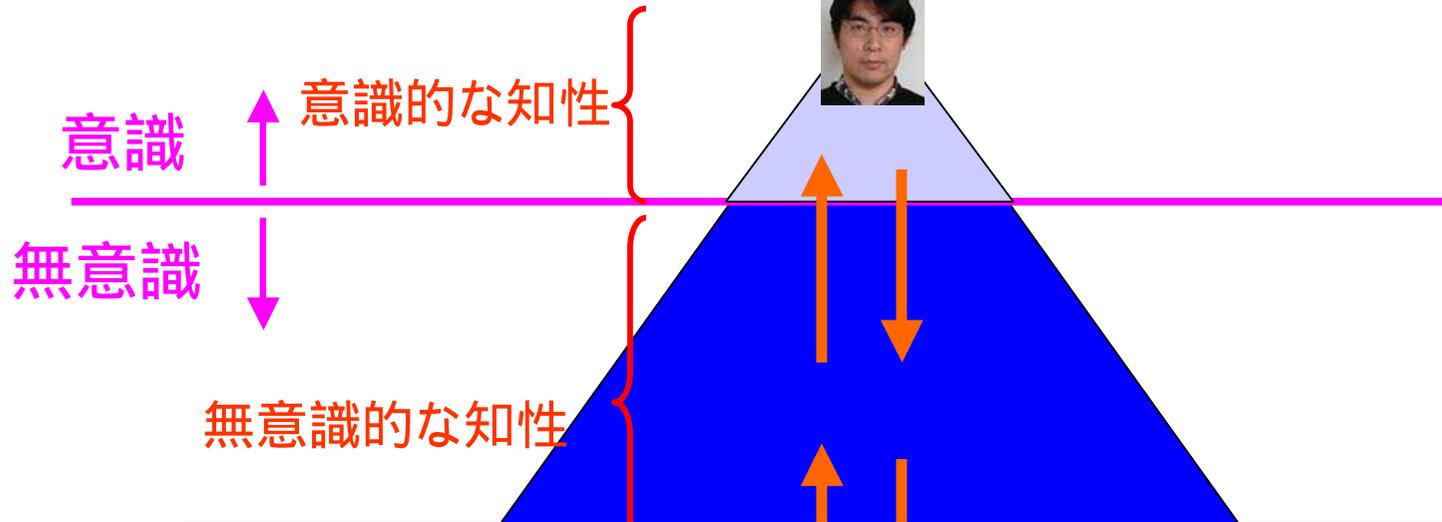
# アフォーダンス

知性全体

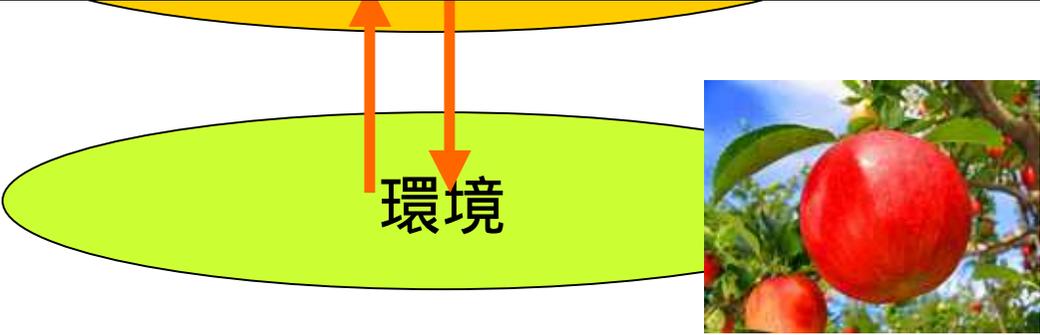


# アフォーダンス

知性全体



リンゴはリンゴと意識に知覚された時点で、既に食べられるものとして映っている。このように、環境世界における対象について、身体が為しえる行為の情報を「アフォーダンス」という。



# 人は自分の身体を基準にして環境に対して いろいろな情報が埋め込んでいる

左右に動かせる

スイッチを入れれば  
投影できる

折り曲げることができる

通れない

引けば座れる

プロジェクターの  
コンセント届くかもしれない

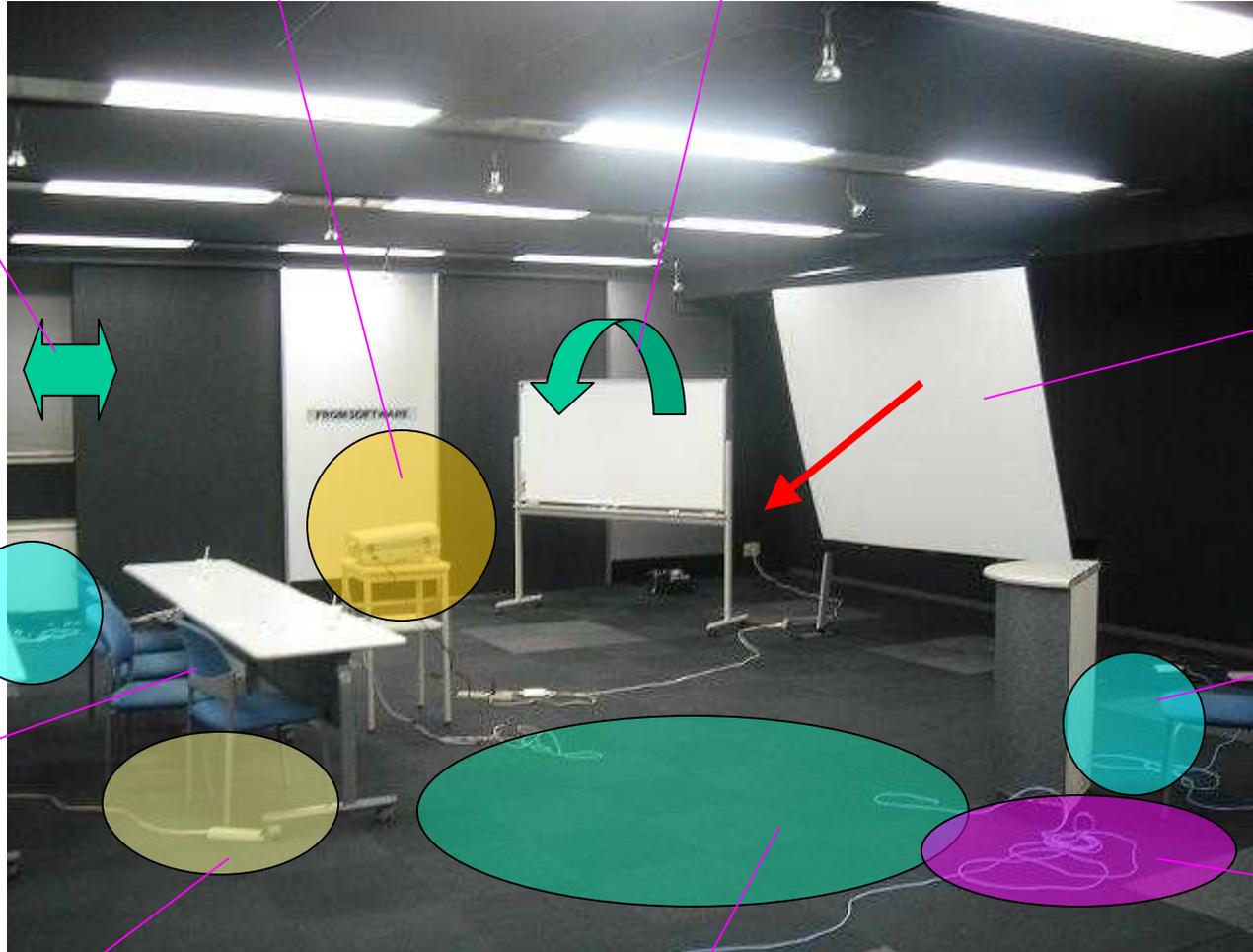
歩くことができる

倒れるかも

通れるかな？

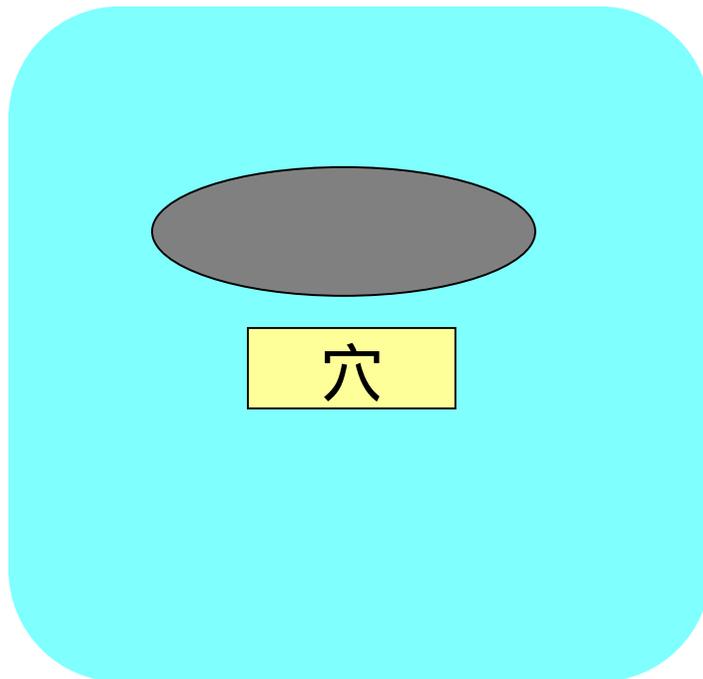
こけるかも

...だから行動できる



# アフォーダンスは キャラクターの動作状態によって変化する

セカイカメラ



アフォーダンス

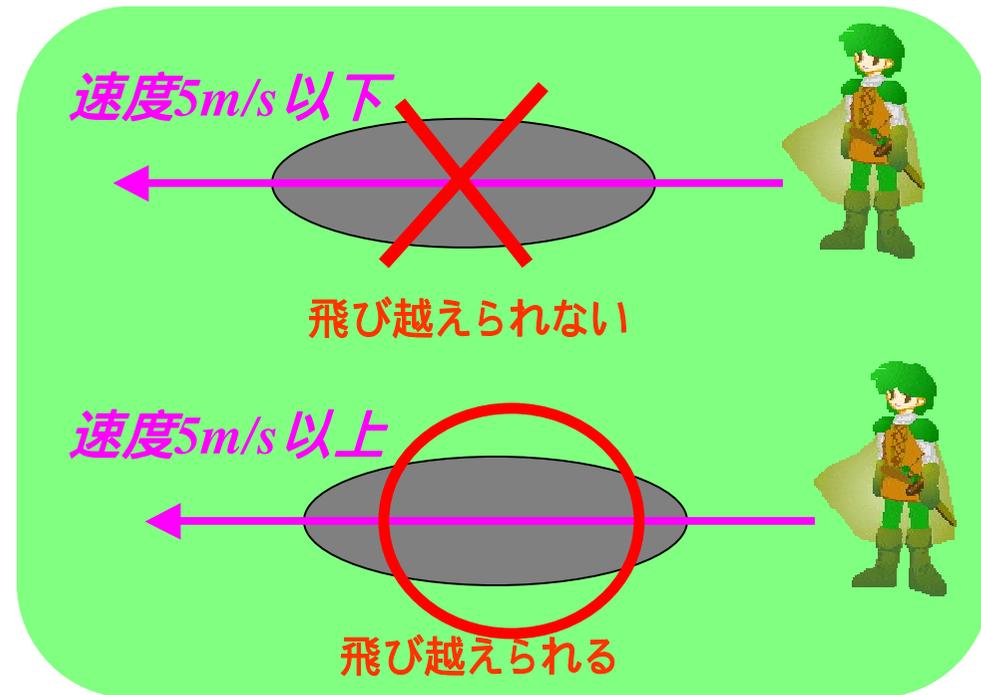
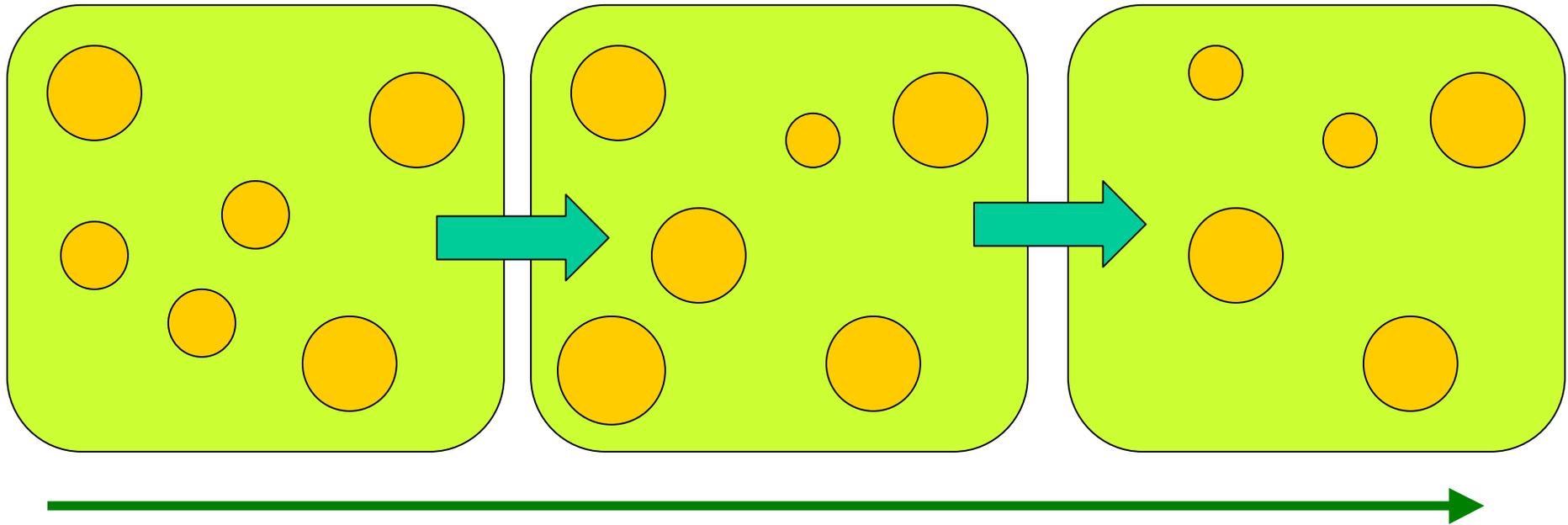


イラスト: アンの小箱 <http://www.anne-box.com/>

少なくともリアルな環境で動くロボットを作ることが必要なのであれば、  
21世紀には機能的意味論 (functional semantics) を構築するという入念な  
作業が待ちうけている。

# アフォーダンス空間

その状況(時、場所)における、そのキャラクターのアフォーダンスの集合



状況の変化と共にアフォーダンスは変化して行く。

(例) 敵を撃てるアフォーダンス

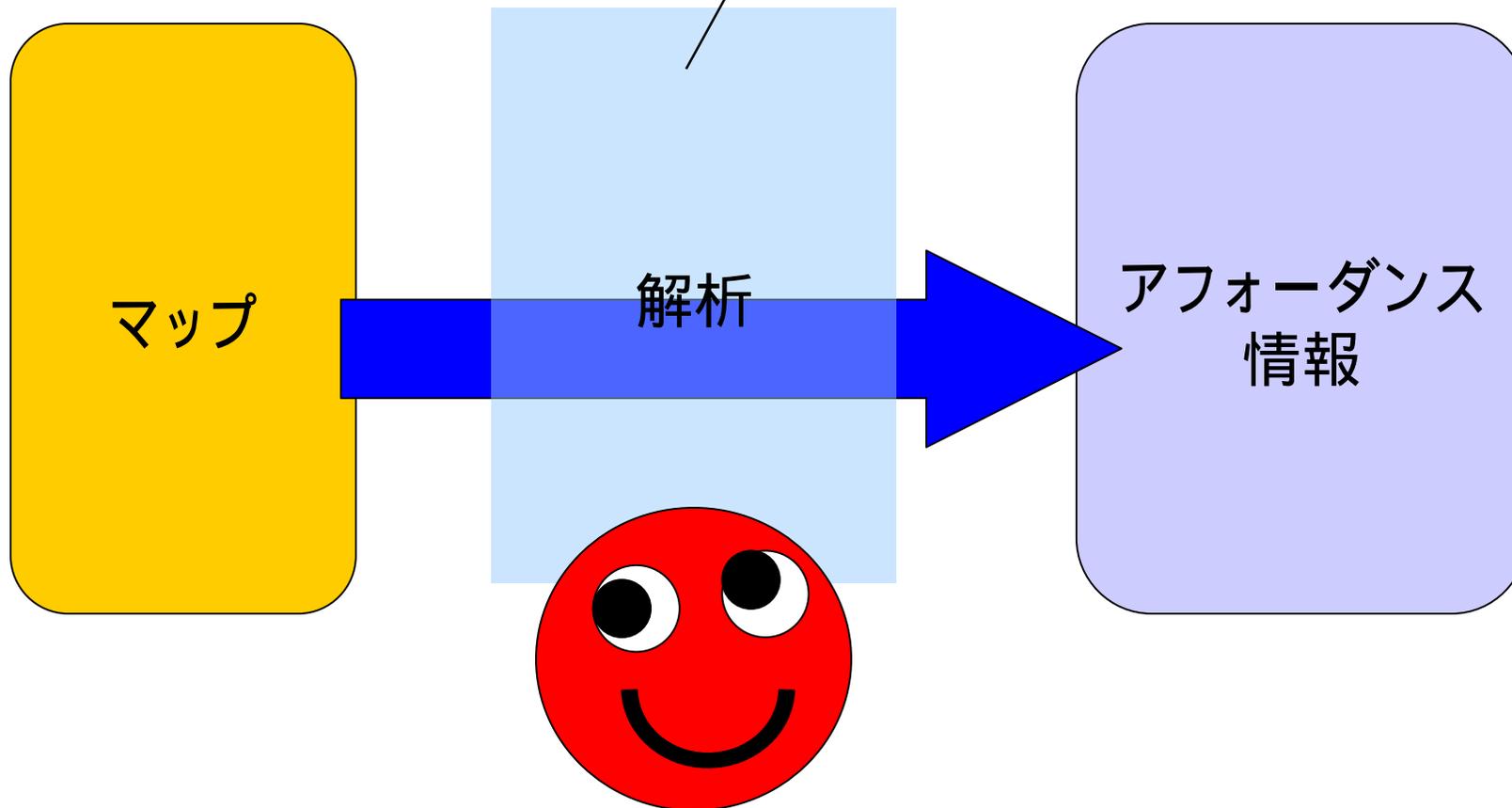
見つからずに逃げることができる

ドアを開けることができる

目の前の物を動かすことができる...

# アフォーダンス情報の抽出

生物が無意識で行なっている過程。  
しかし、デジタルゲームでは、  
事前解析、データ埋め込み、リアルタイム解析で行なう。



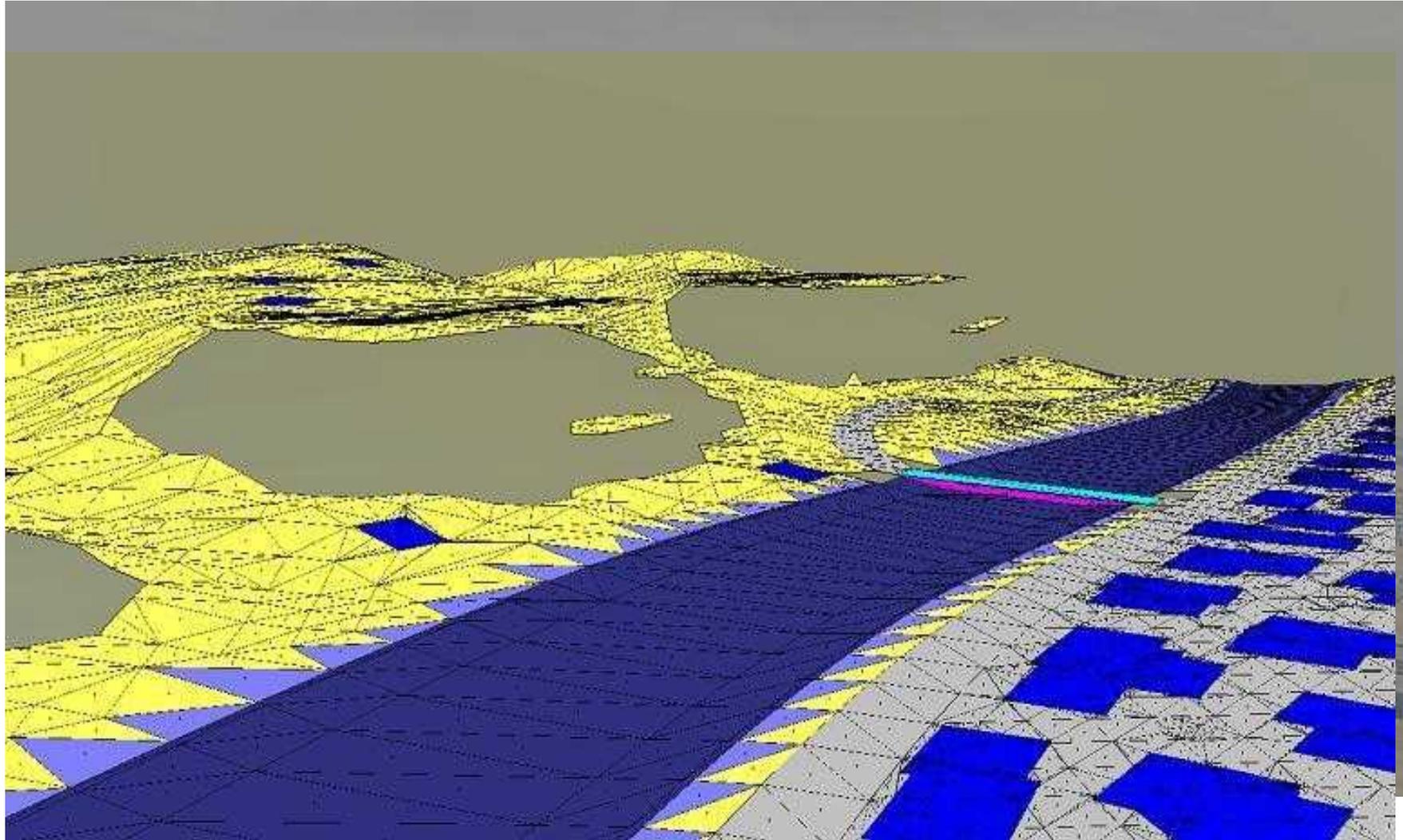
## (例) Halo2 事前データ準備

アフォーダンス表現 = オブジェクトをどう動かせるかという情報



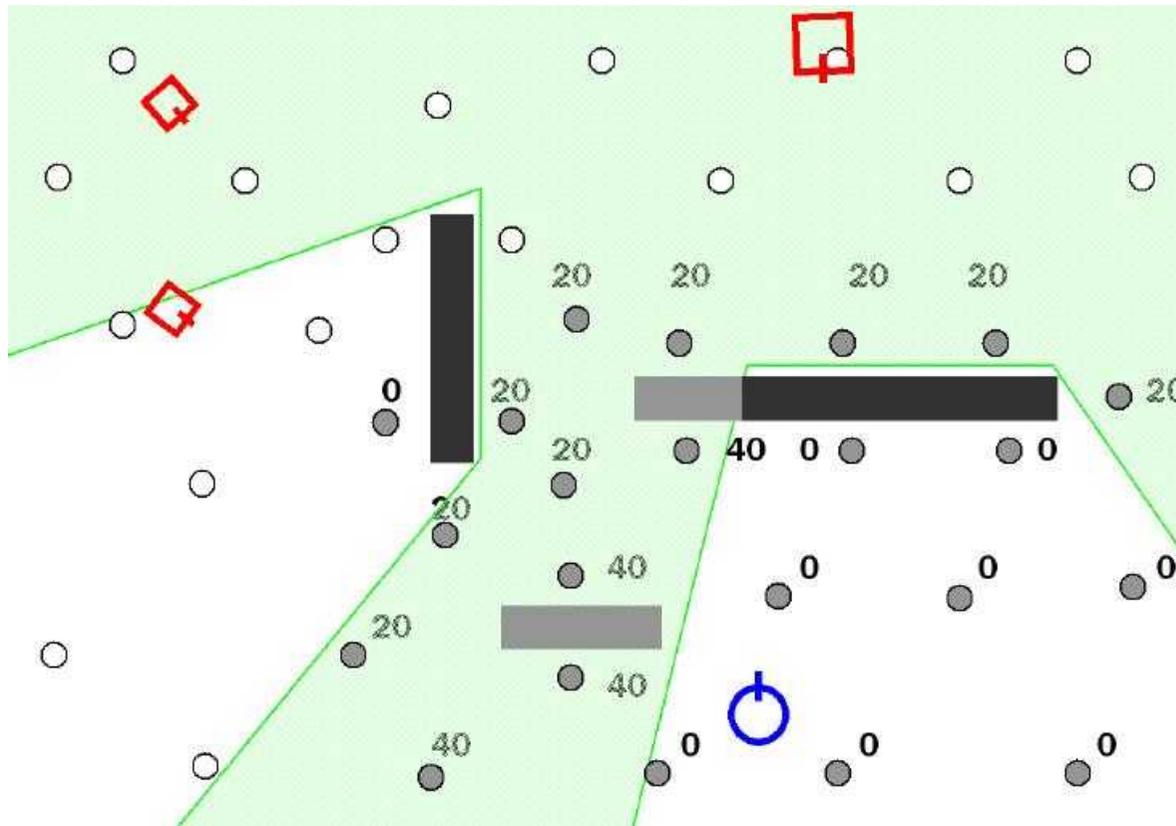
# (例) クロムハウズ 事前解析

アフォーダンス表現 = メッシュの通りやすさのアフォーダンス



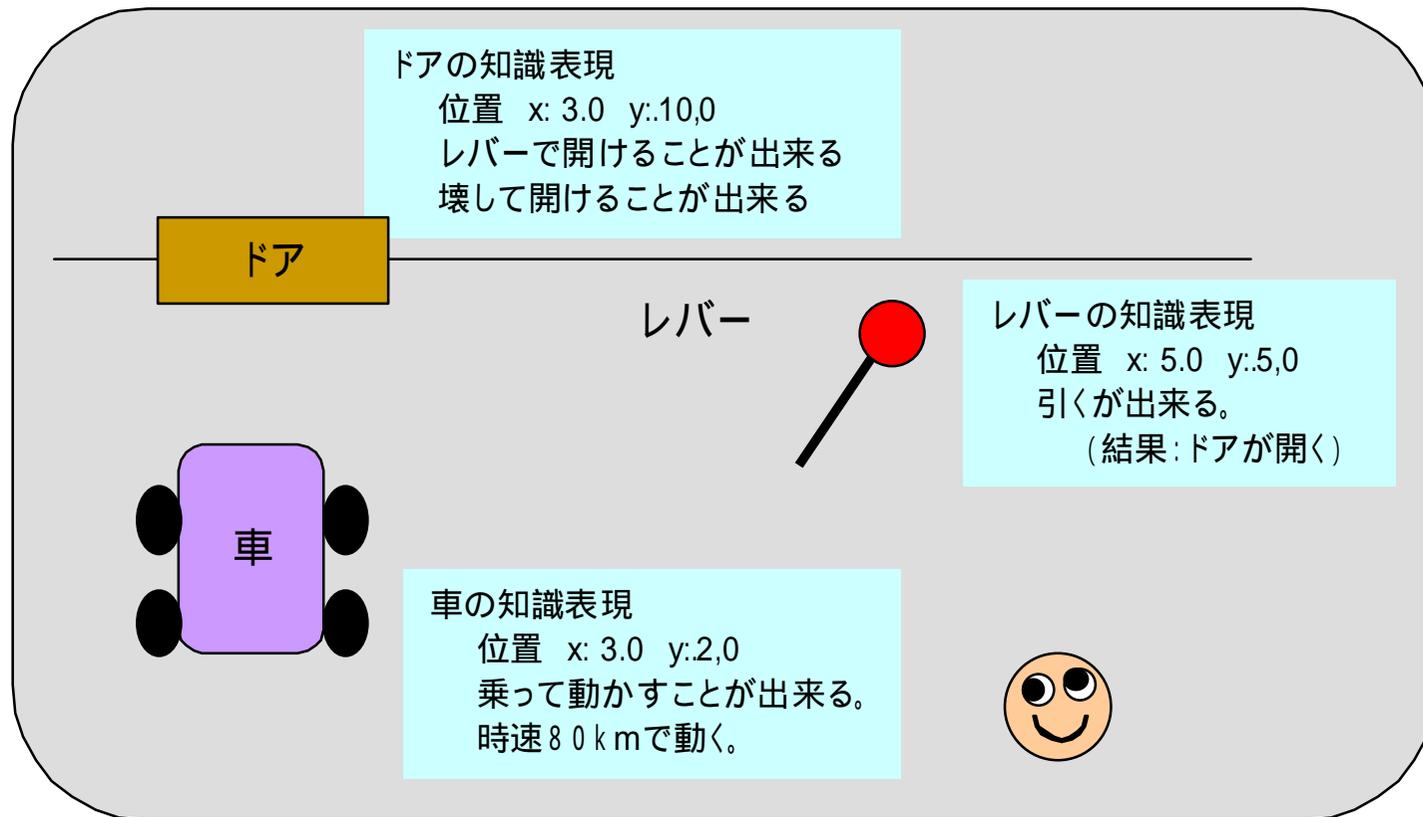
# (例) Killzone リアルタイム解析

アフォーダンス表現 = 相手の位置を撃てるかどうかという情報



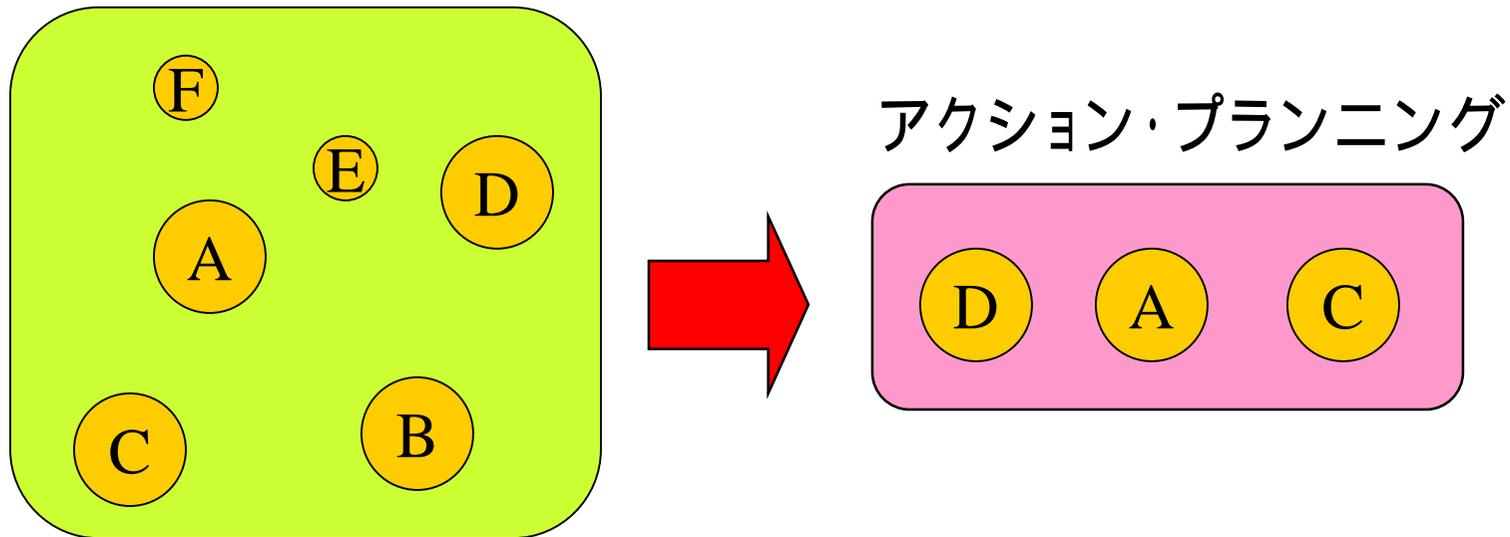
- 40点 ... 立った状態のみ射線が通る
- 20点 ... 座っても立っても射線が通る

# ステージのアフォーダンス解析



各オブジェクトのアフォーダンスされた行動から、最適な行動を選び出す、というロジックの作り方も出来る。

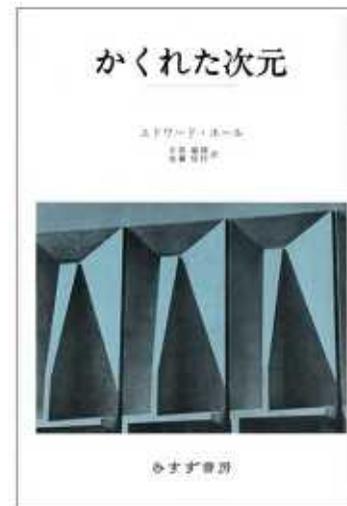
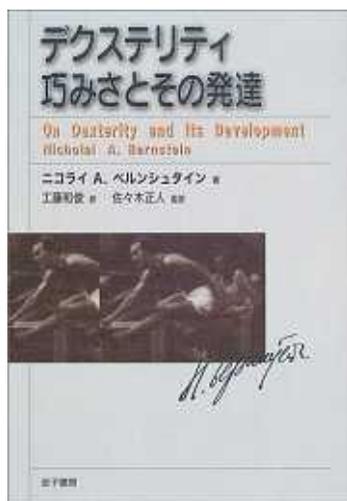
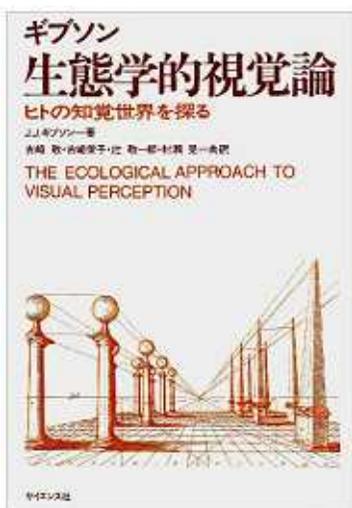
# アフォーダンス + プランニング



各オブジェクトのアフォーダンスされた行動から、  
行動を連ねたアクション・プランを構成する

# 参考文献

- (1) 佐々木正人 「アフォーダンス入門」 (講談社学術文庫)
- (2) 佐々木正人 「アフォーダンス - 新しい認知の理論」 (岩波書店)
- (3) エドワード・ホール 「かくれた次元」 (みすず書房)
- (4) 佐々木正人 「知覚はおわらない」 (青土社)
- (5) 佐々木正人・三嶋博之編 「アフォーダンスと行為」 (金子書房)
- (6) 佐々木正人・三嶋博之編訳 「生態心理学の構想」 (東京大学出版会)
- (7) J.J.ギブソン 「生態学的視覚論」 (サイエンス社)
- (8) ニコライ・A・ベルンシュタイン  
「デクステリテイー 巧みさとその発達」 (金子書房)



# 第二部 生態学

第一章 アフォーダンス

第二章 環世界

# 環世界とは？

生物が主観的に構成している世界

= 生物に見えている世界

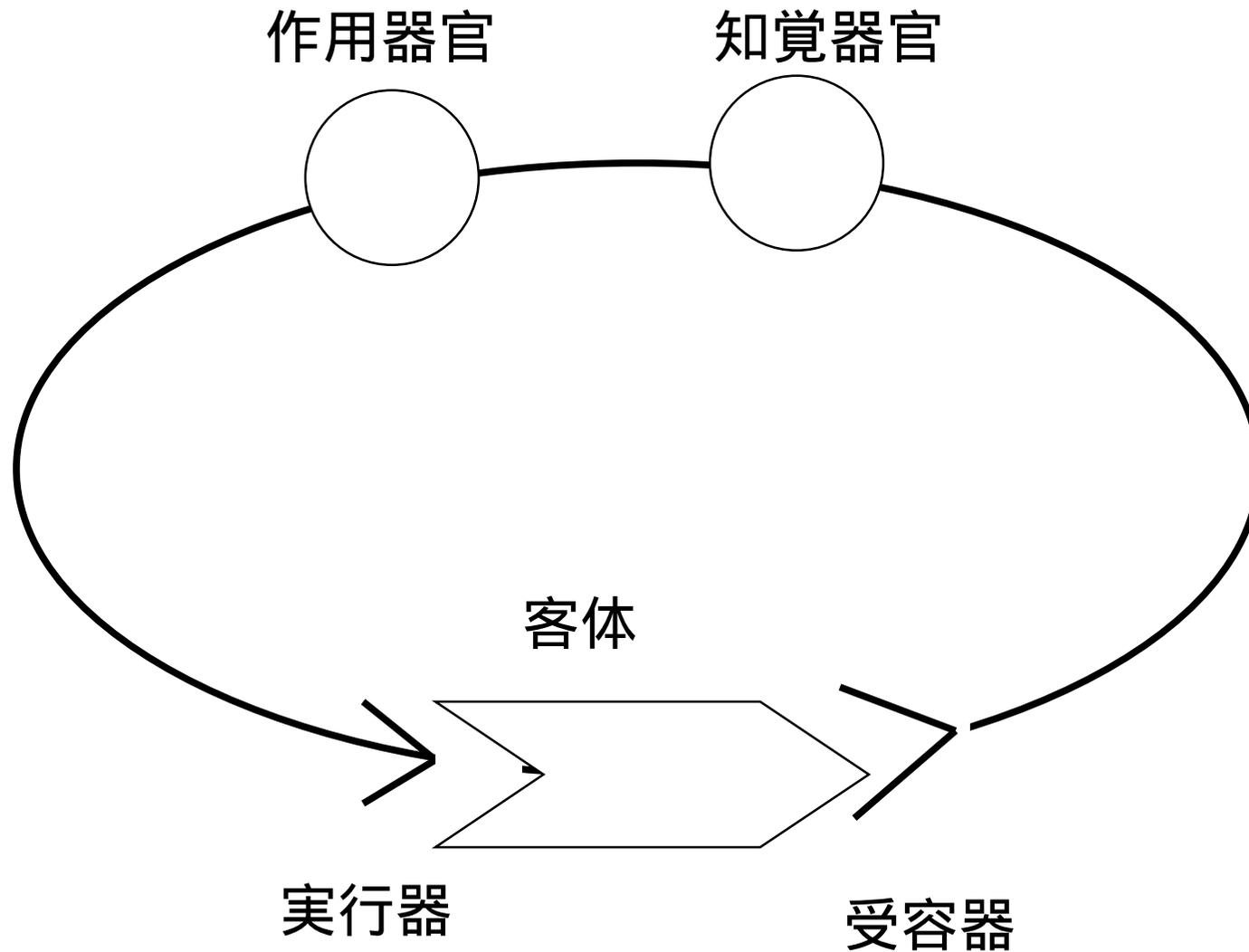
= 我々が知覚している世界

時にイリュージョンなどと呼ばれる。

生物はイリュージョンを通じてしか知覚できない。

生物はイリュージョンの中で行動するしかない。

# 環世界のスキーム



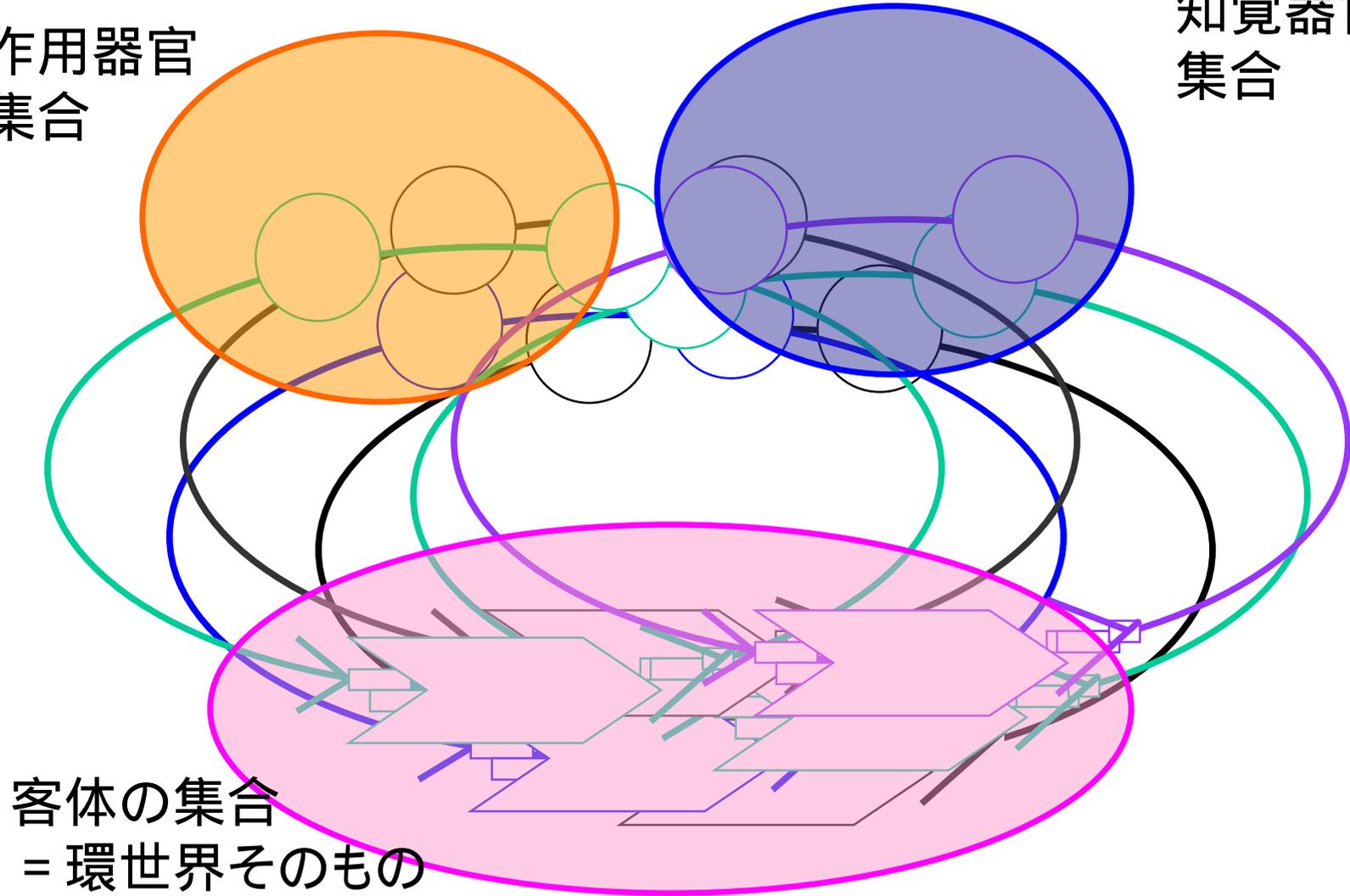
知覚と作用で客体を“つかんでいる”

= “現実” (主観世界)  
の構成要素

# 環世界のスキーム

作用器官  
集合

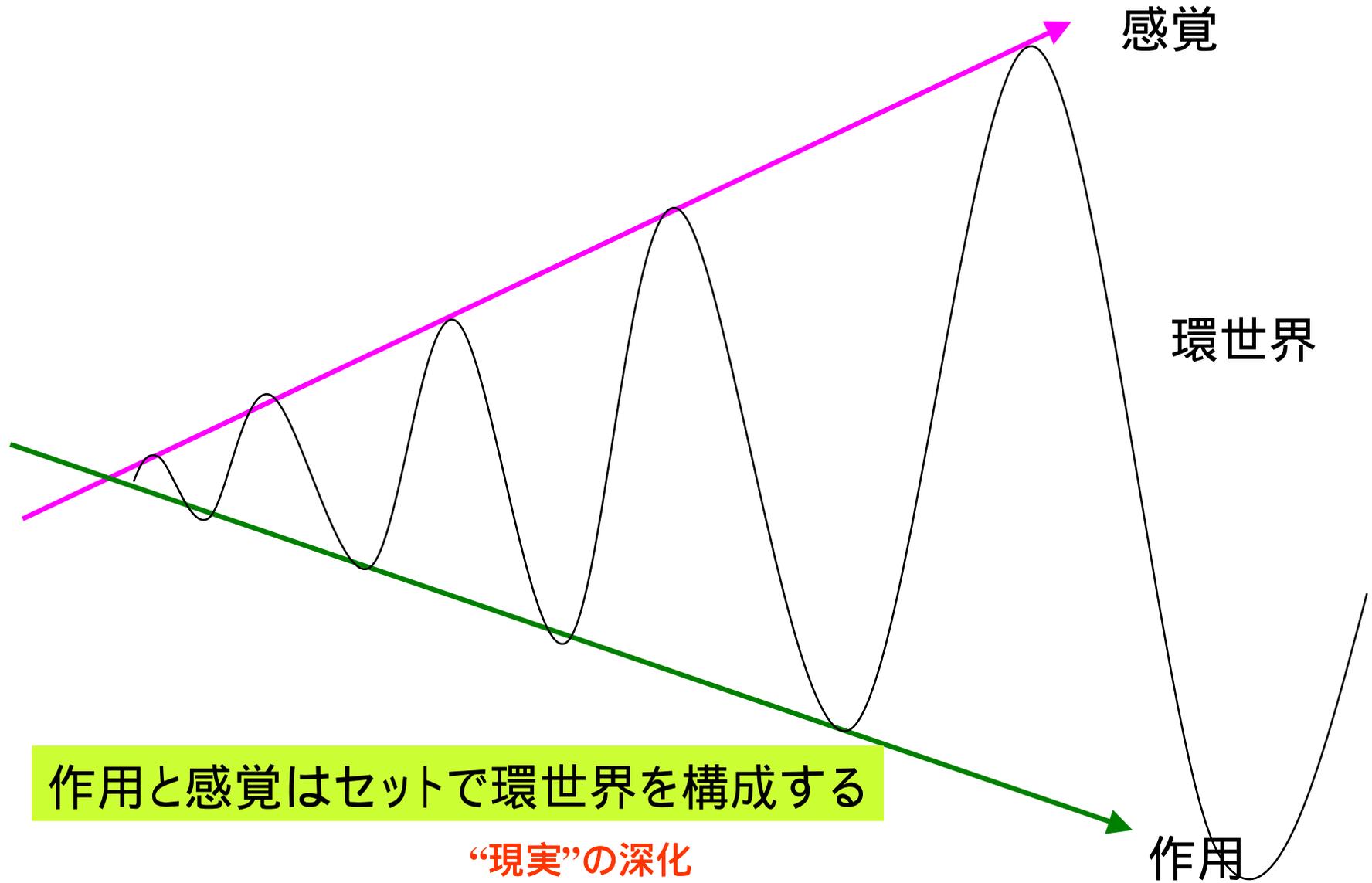
知覚器官  
集合



客体の集合  
= 環世界そのもの

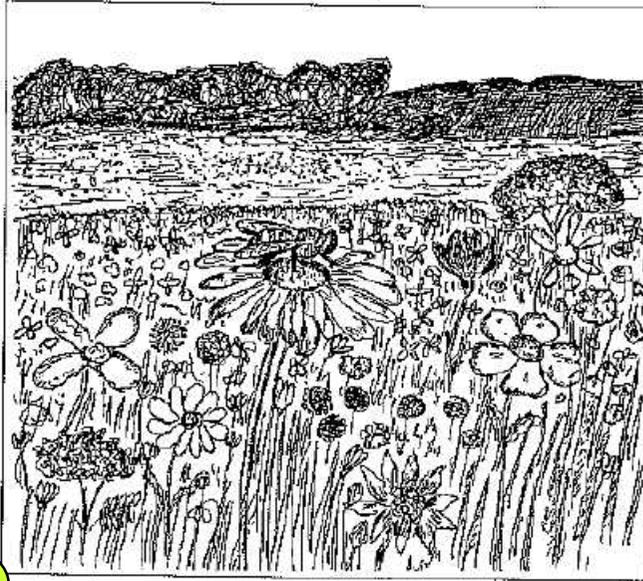
知覚と作用で客体を“つかんでいる” = “現実”の根底を構成

# 生物の進化と環世界

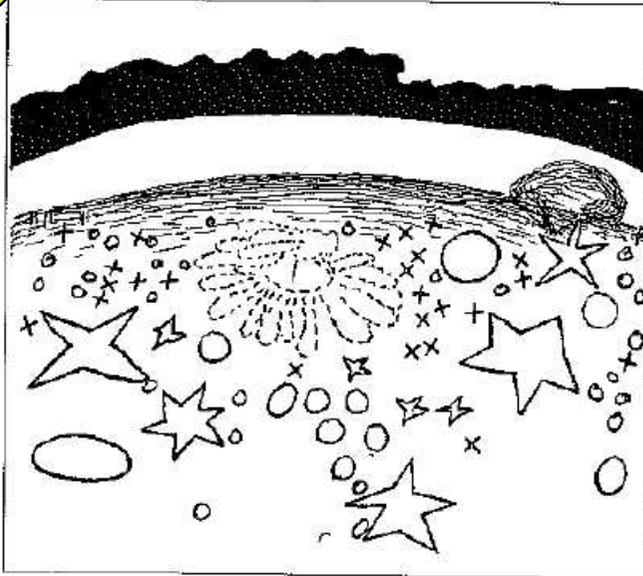


# ミツバチの環世界

現実



環世界



ミツバチは、  
密のある花しか感知しない。

図 23 ミツバチの環境(上)と環世界

# カタツムリの環世界を研究する実験

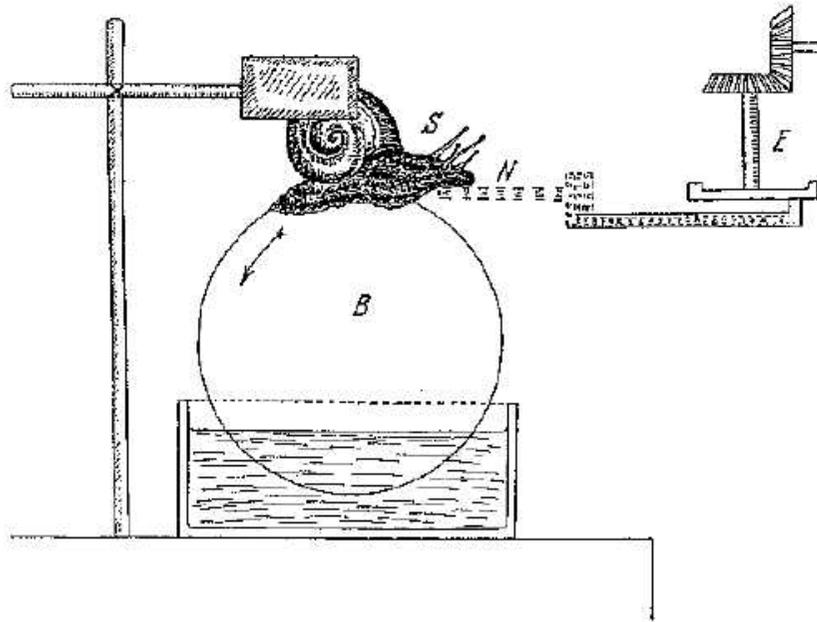


図 16 カタツムリの瞬間

B: ゴムボール E: 偏心輪 N: 棒 S: カタツムリ

## 実験

かたつむりをゴムボールに乗せる。  
カタツムリの前に棒を出し入れする。  
棒の出し入れの頻度を変化させる。

## 結果

一秒間に1～3回の出し入れの頻度では、  
カタツムリは棒を渡ろうとしない。

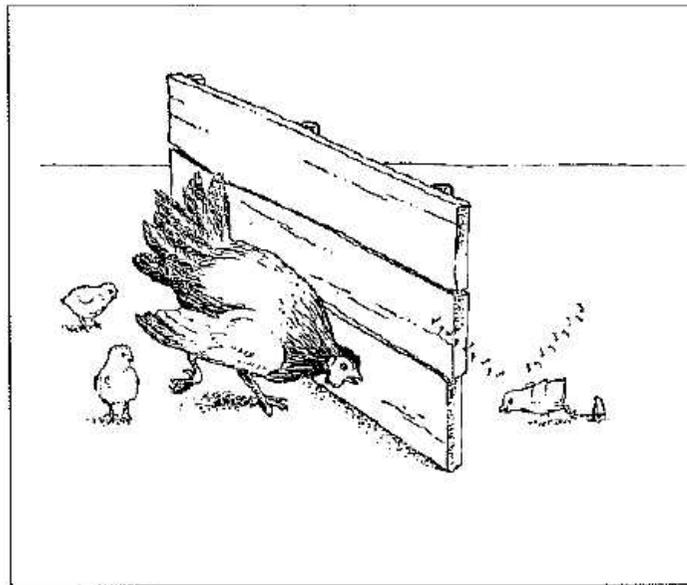
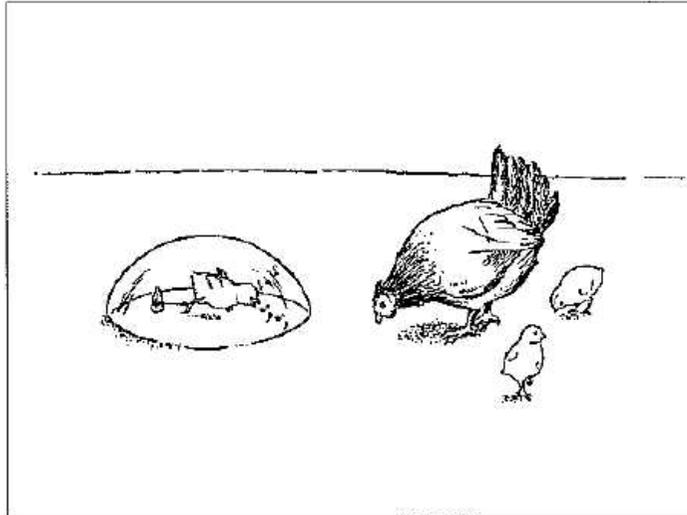
4回以上だと棒を渡ろうとする。

## 結論

カタツムリにとって、秒間4回以上の棒は、  
棒が止まって見える。

= カタツムリの環世界の更新頻度は、  
4回以下。(人間は18回/秒程度)

# ニワトリの環世界を研究する実験



## 実験

雛の足をくくって、親鳥が怒るかを見る。  
(上) 雛の声が聞こえないように透明ドームをする。  
(下) 見えないように、ついたてだけ

## 結果

(上) 親鳥は無視。  
(下) 見えないのに助けに行こうとする。

## 結論

ニワトリにとって、雛の姿は重要ではない。  
その声によって認識しているのが、  
ニワトリの環世界。  
(見えていないわけではない)

図 26 めんどりとひなたち

# ヤドカリの環世界を研究する実験

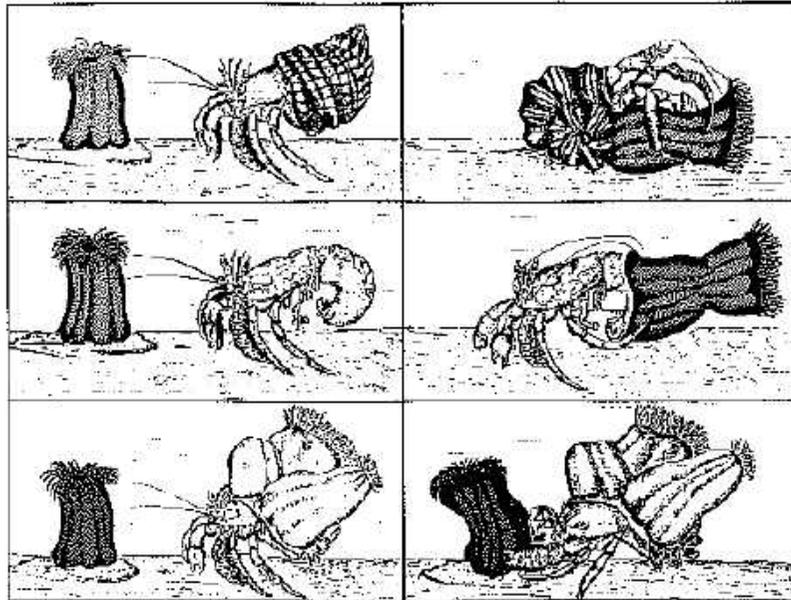


図28 イソギンチャクとヤドカリ  
(本文89頁参照)

ヤドカリの状態に応じて  
イソギンチャクの意味が変化する

- (上) ヤドのカムフラージュの飾りにしようとする
- (中) ヤドがないのでヤドにしようとする
- (下) お腹空いているので食べようとする

# 参考文献

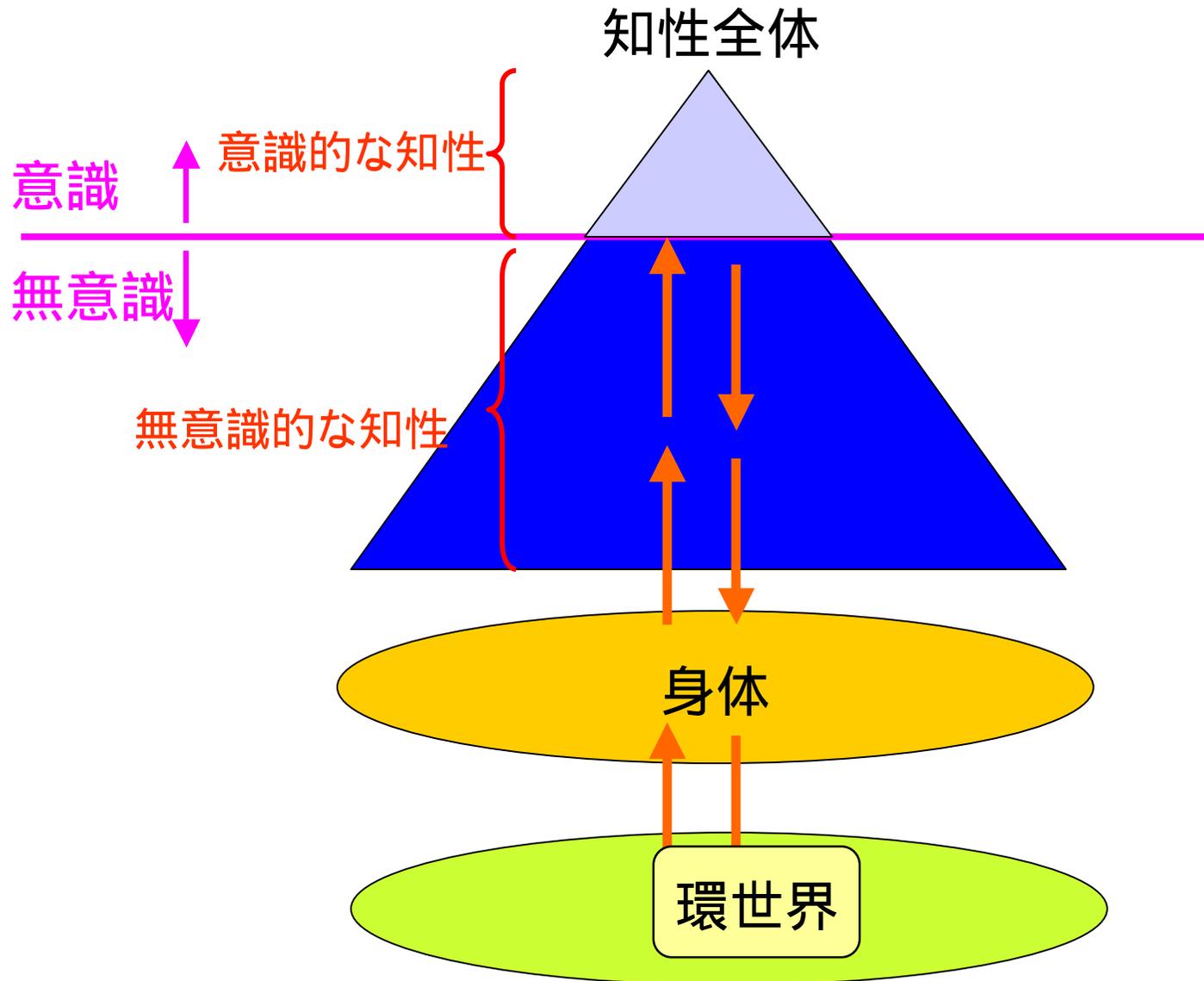
- (1) ユクスキュル/クリサート、「生物から見た世界」(岩波文庫)
- (2) 日高敏隆、「動物と人間の世界認識」(ちくま学芸文庫)
- (3) 伍賀正典他、「身体性の拡張に関連する進化型自律移動ロボットの特徴解析」、人工知能学会(2008)

<http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai/conf/2008/program/pdf/100394.pdf>



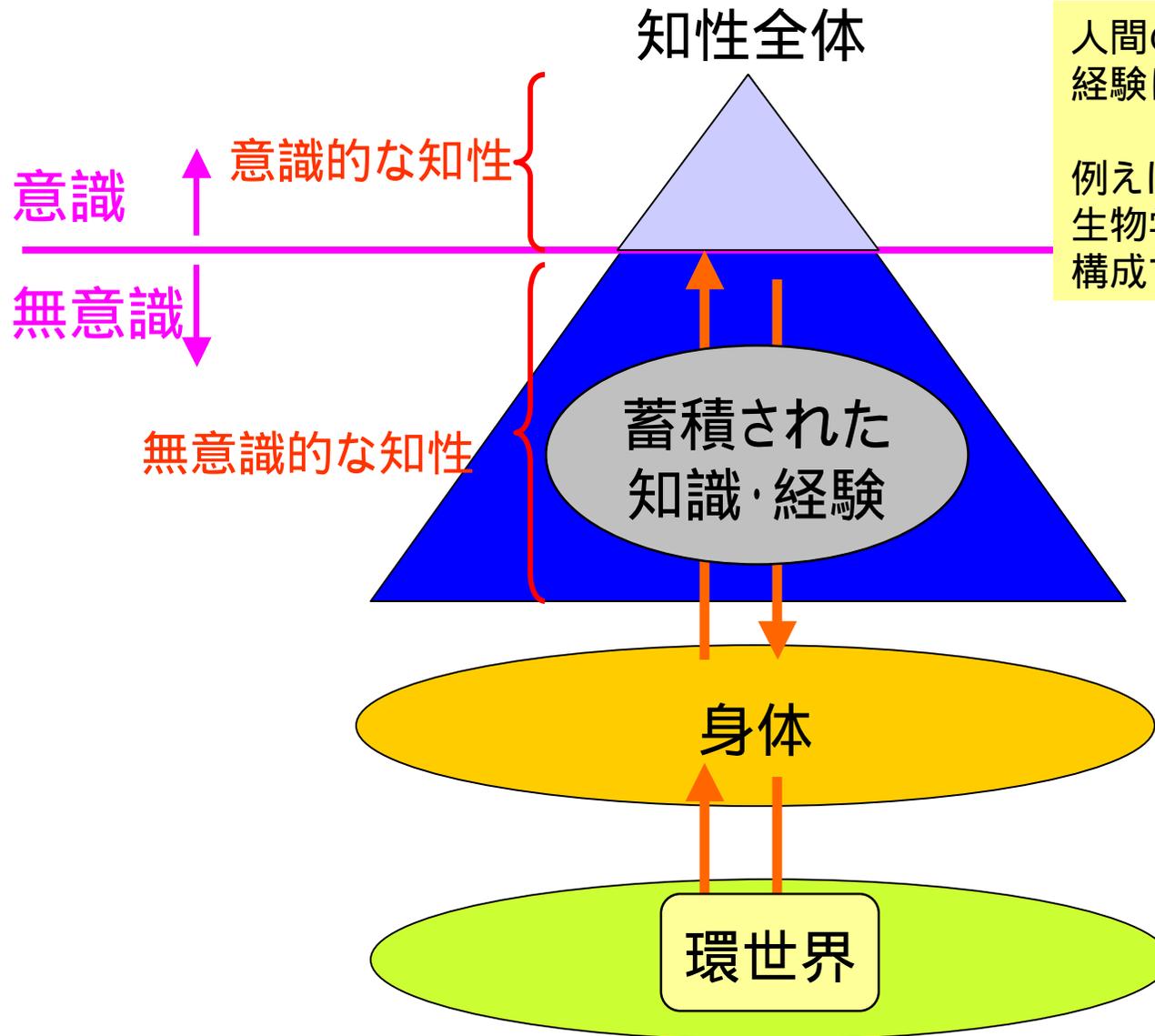
# 人間の環世界

高度に抽象化された環世界



# 人間の環世界

## 高度に抽象化された環世界

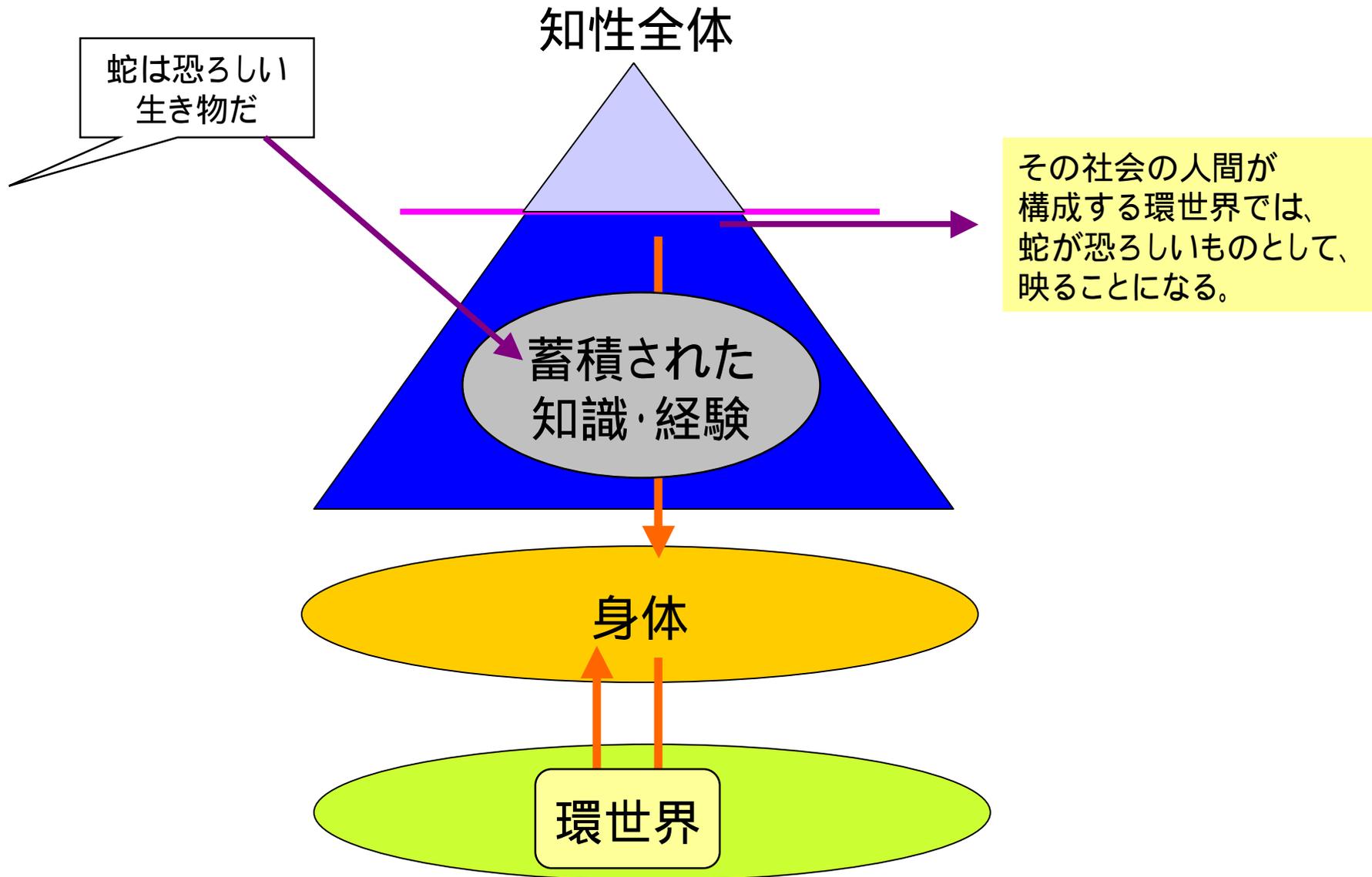


人間の場合、蓄積された知識や経験によって、環世界が変化する。

例えば、天文学を学んだ人と、生物学を学んだ人が構成する環世界には、違いがある。

# 社会や伝承による環世界

高度に抽象化された環世界



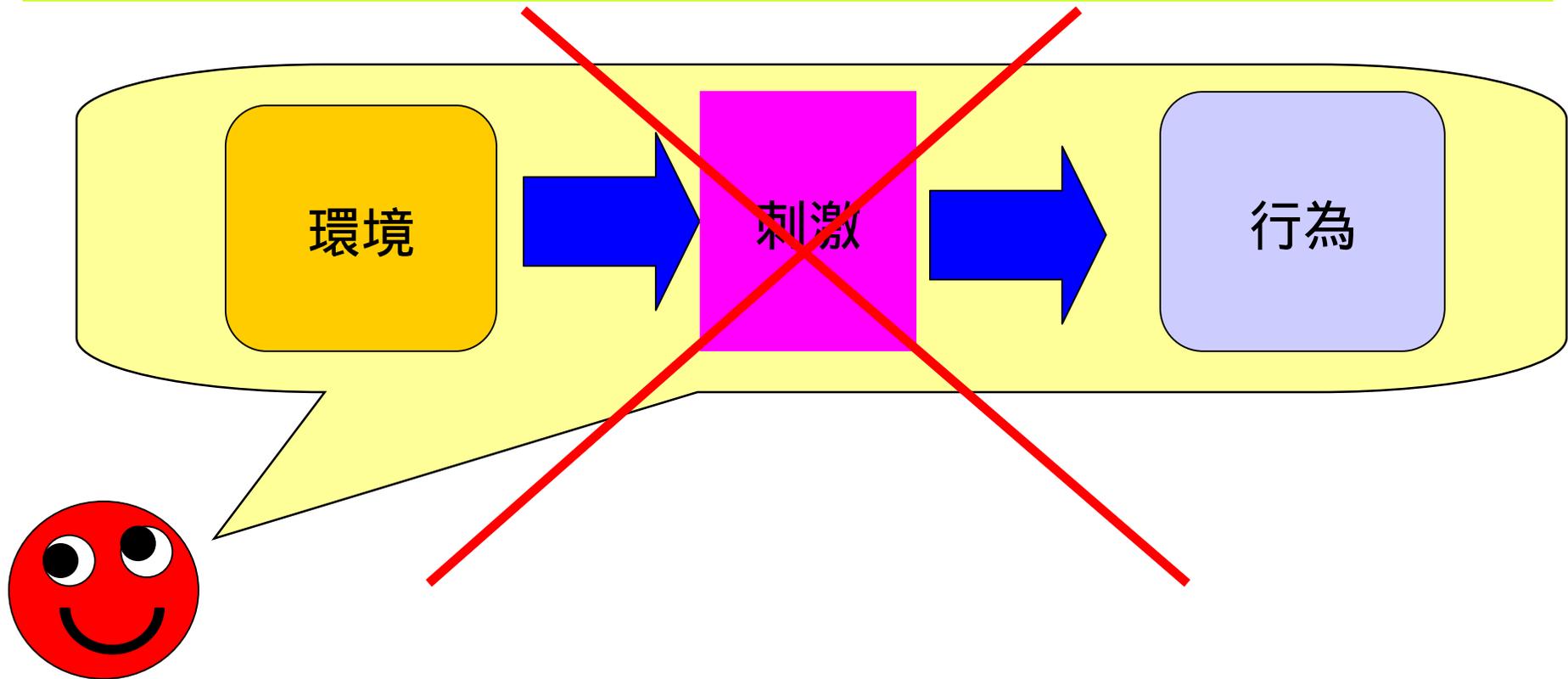
# メディアが変化させる環世界： ゲームユーザーの環世界

ゲームユーザーは、デジタルゲームに対して環世界を構築する。



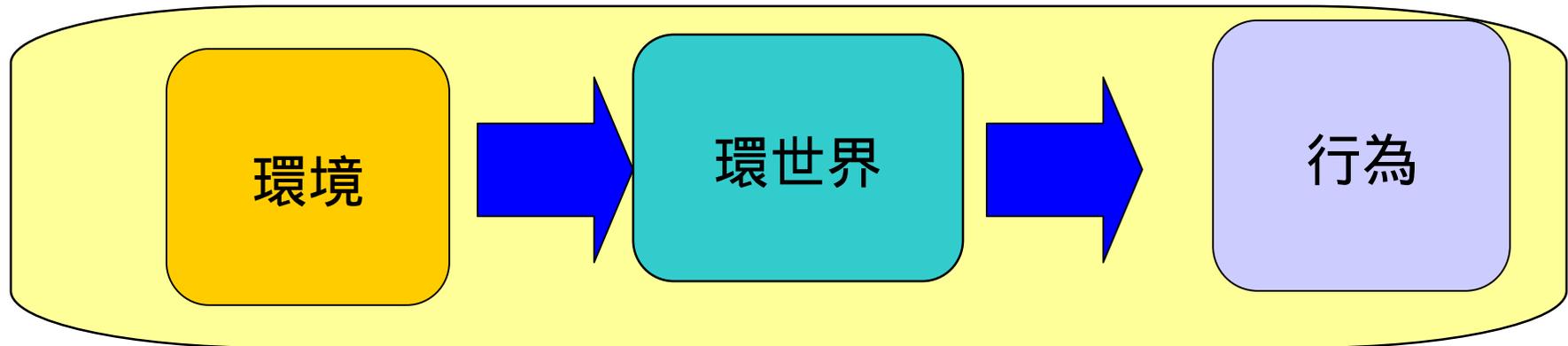
# 生物の環世界

生物は、それぞれ固有の環世界を構築する。  
構築された環世界に応じて行動が決定される。  
構築された環世界には、  
その生物の知恵や知識が埋め込まれている。



# 生物の環世界

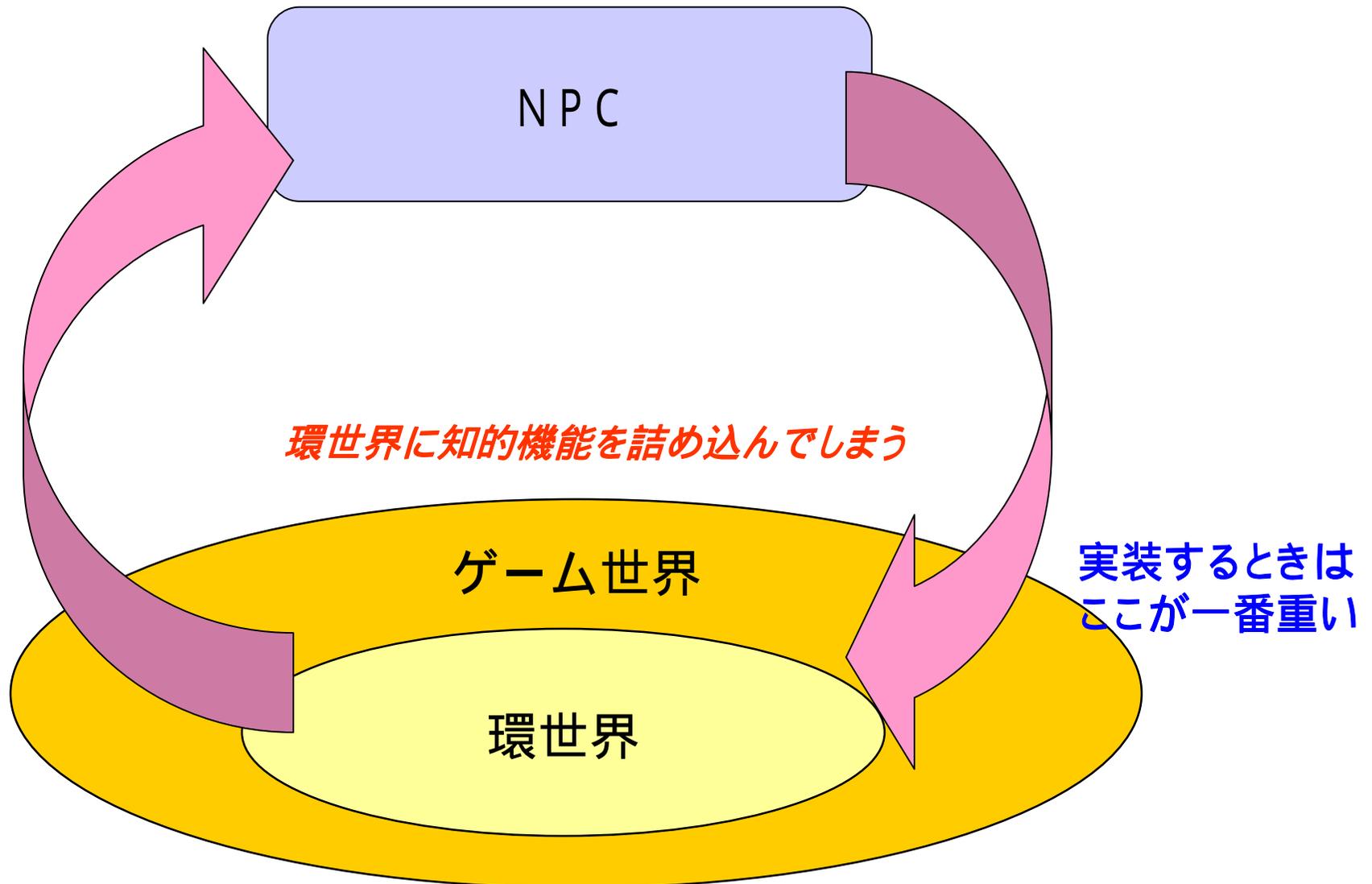
生物は、それぞれ固有の環世界を構築する。  
構築された環世界に応じて行動が決定される。  
構築された環世界には、  
その生物の知恵や知識が埋め込まれている。



生物の行動は、  
単に刺激に対する反射ではなくて、  
環世界を通じた反応である。

(ユクスキュル)

# NPCはゲーム世界から環世界を切り取る

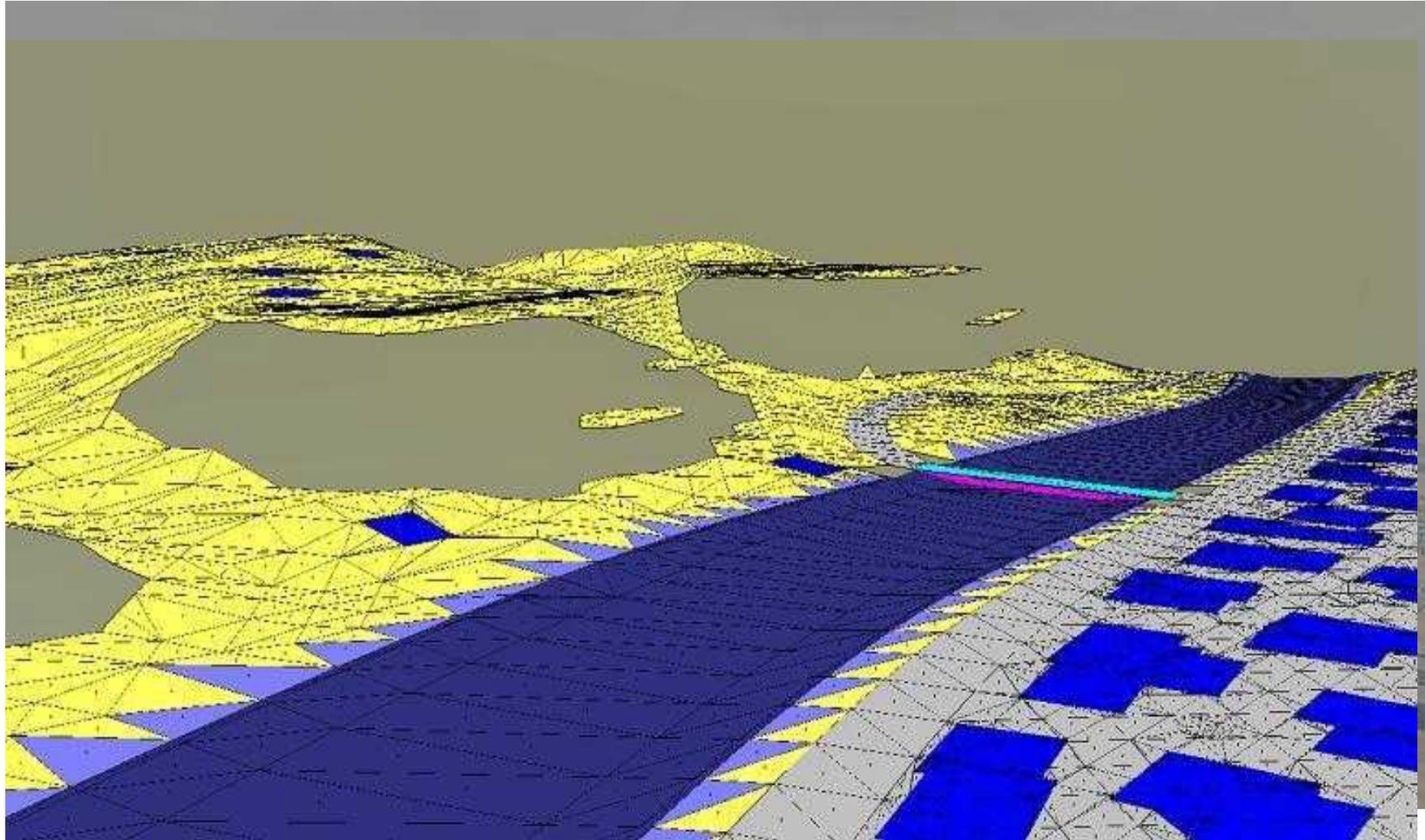


*ゲーム世界、アフォーダンス情報の更新。*

NPC (生物) はゲーム世界から環世界を切り取る。

# (例) クロムハウنزの環世界 (AIにはこう見える)

アフォーダンス表現 = メッシュの通りやすさのアフォーダンス



実際のローポリゴンのデータは持っていない。インタラクションのみ。

# ミツバチの環世界/CHの環世界

現実



環世界

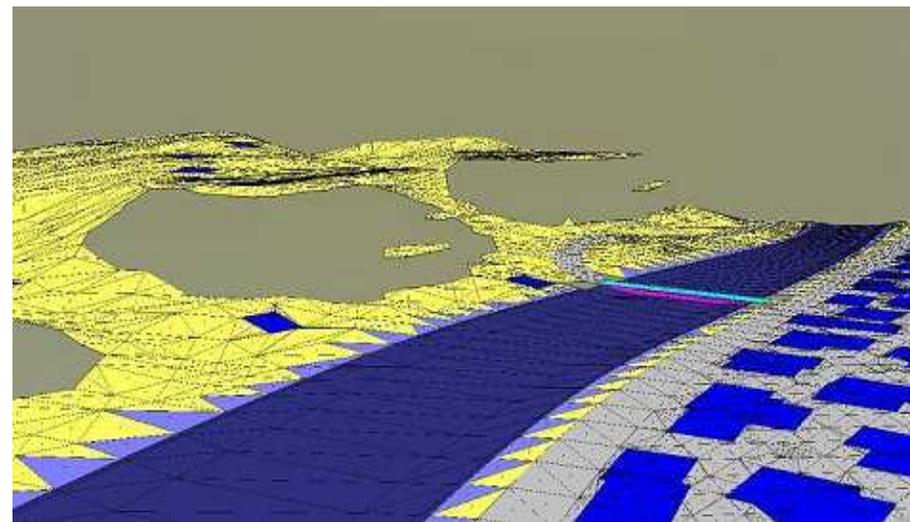
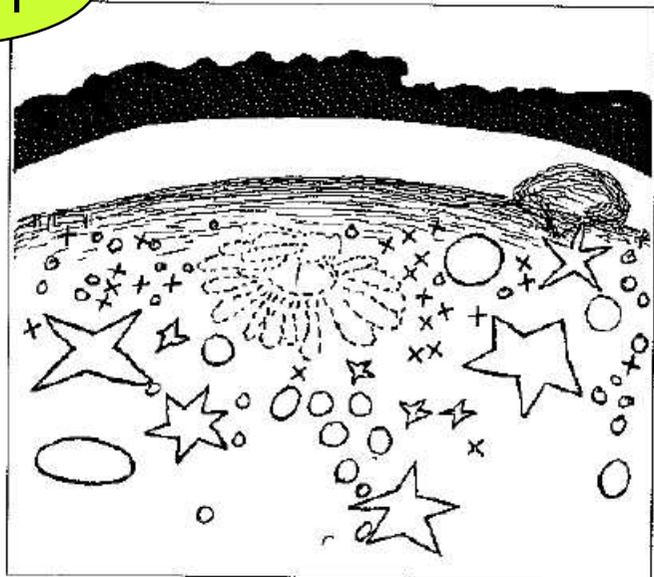


図 23 ミツバチの環境(上)と環世界

# ゲーム世界からAIの環世界を構成する

AIには適切な環世界を構築してやることが重要

## 環世界の利点

環世界に知性の機能を埋め込むことが出来る。

環世界そのものがAIの個性になる。

AIが間違ふことが出来る(思い込み、驚き)。

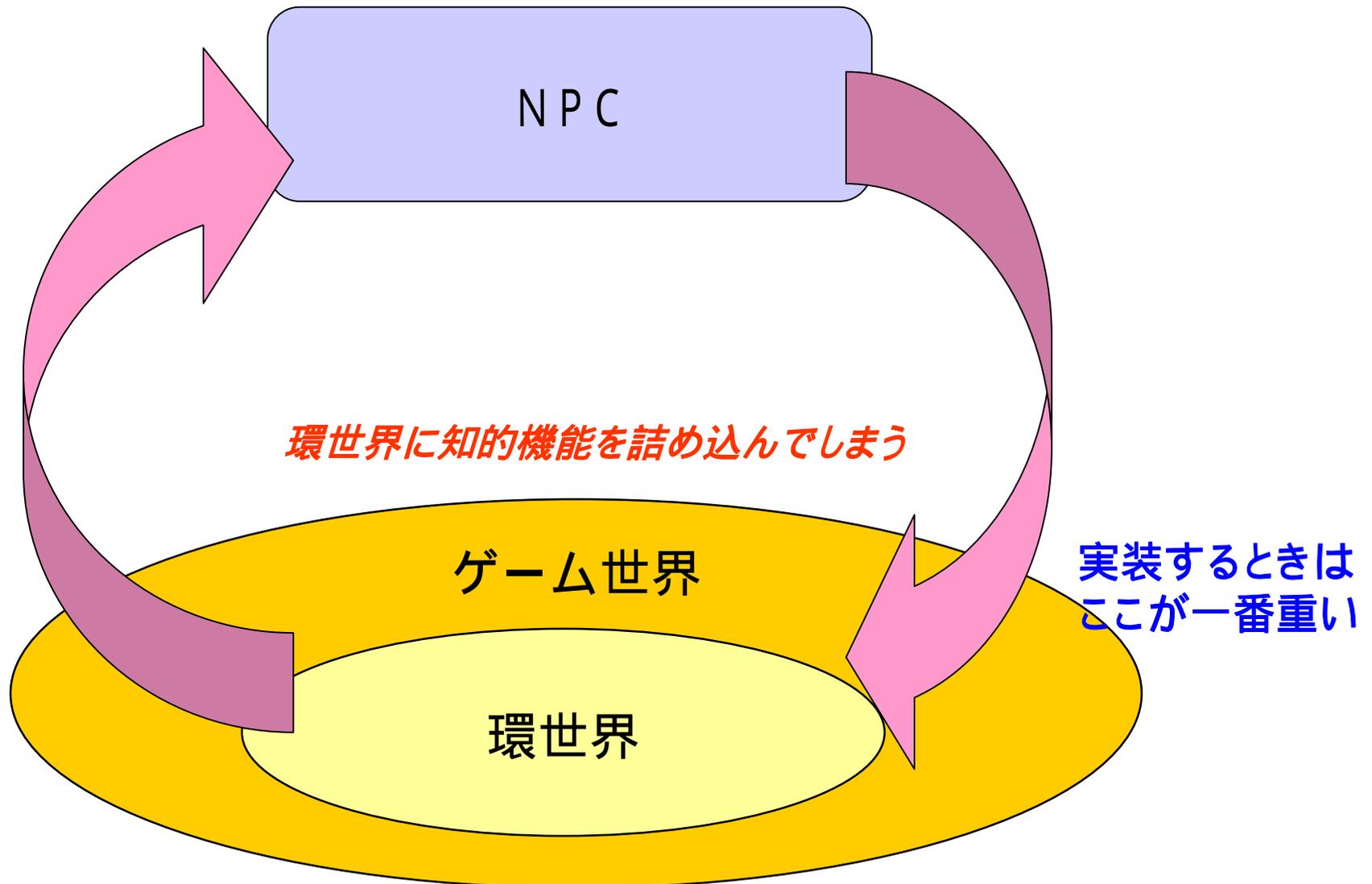
## 環世界の要件

アフォーダンス情報が含まれること。

環世界を自分を含んだ形で

シミュレーションできること(=予想機能)。

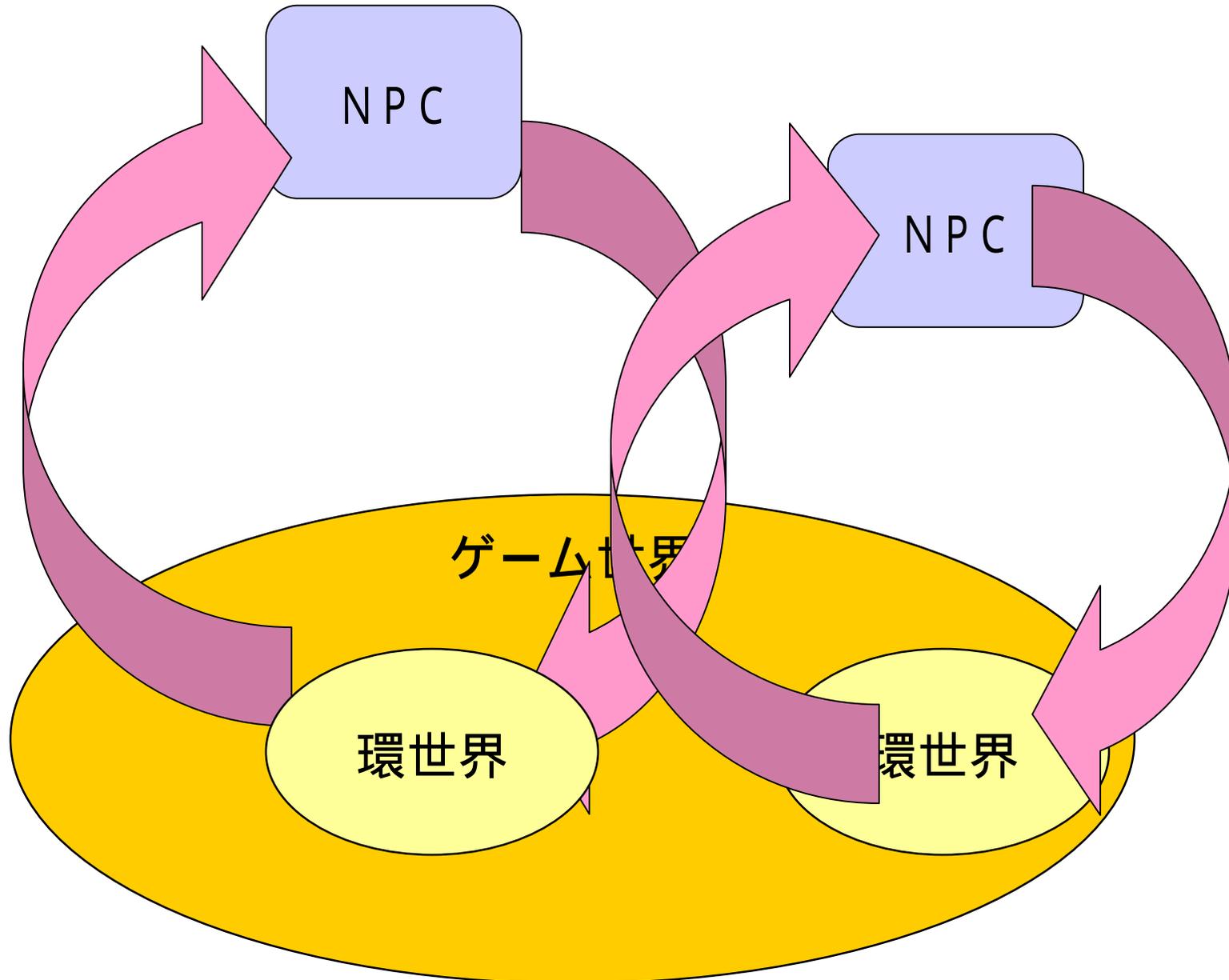
# NPCはゲーム世界から環世界を切り取る



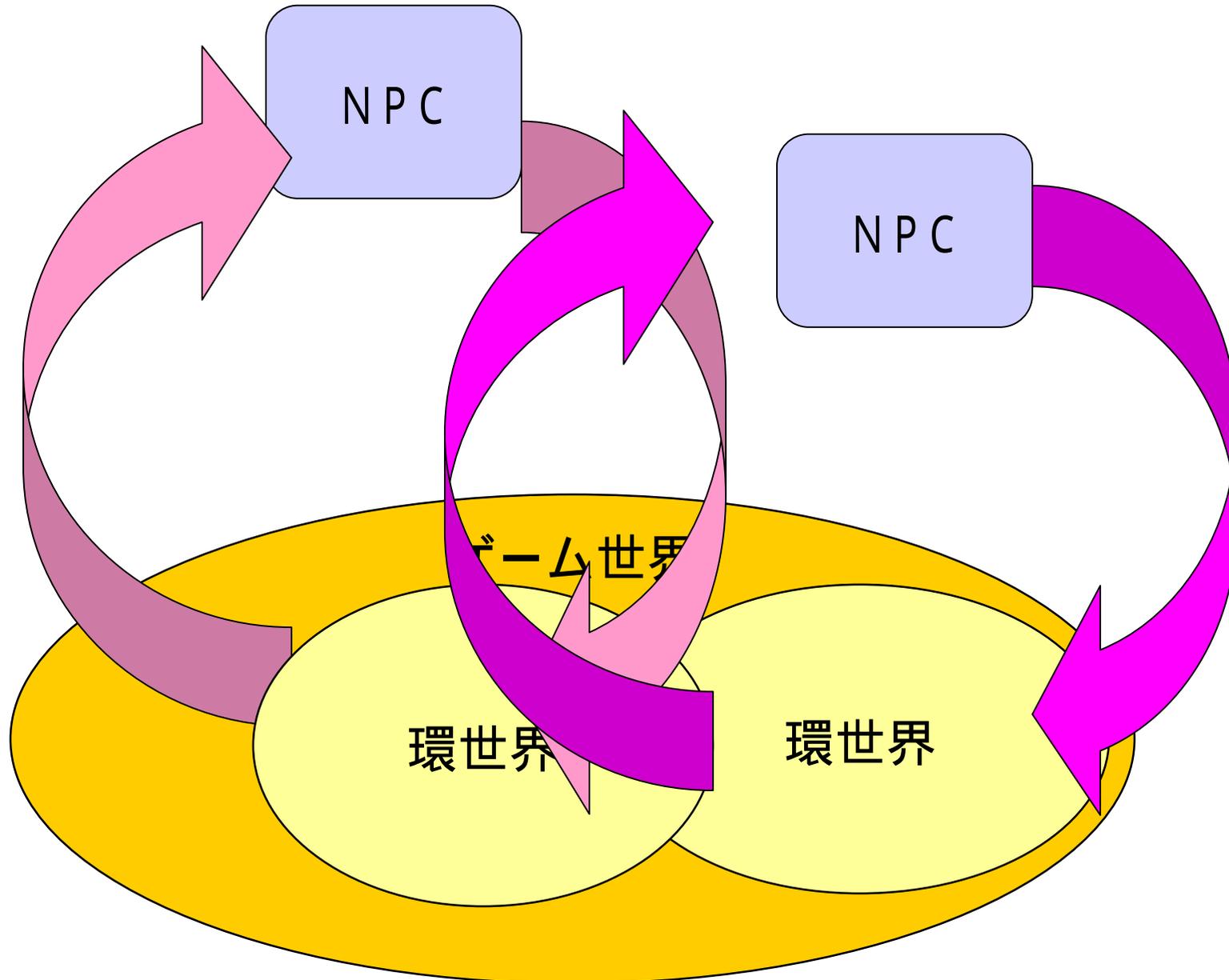
ゲーム世界、アフォーダンス情報の更新。

NPC (生物) はゲーム世界から環世界を切り取る

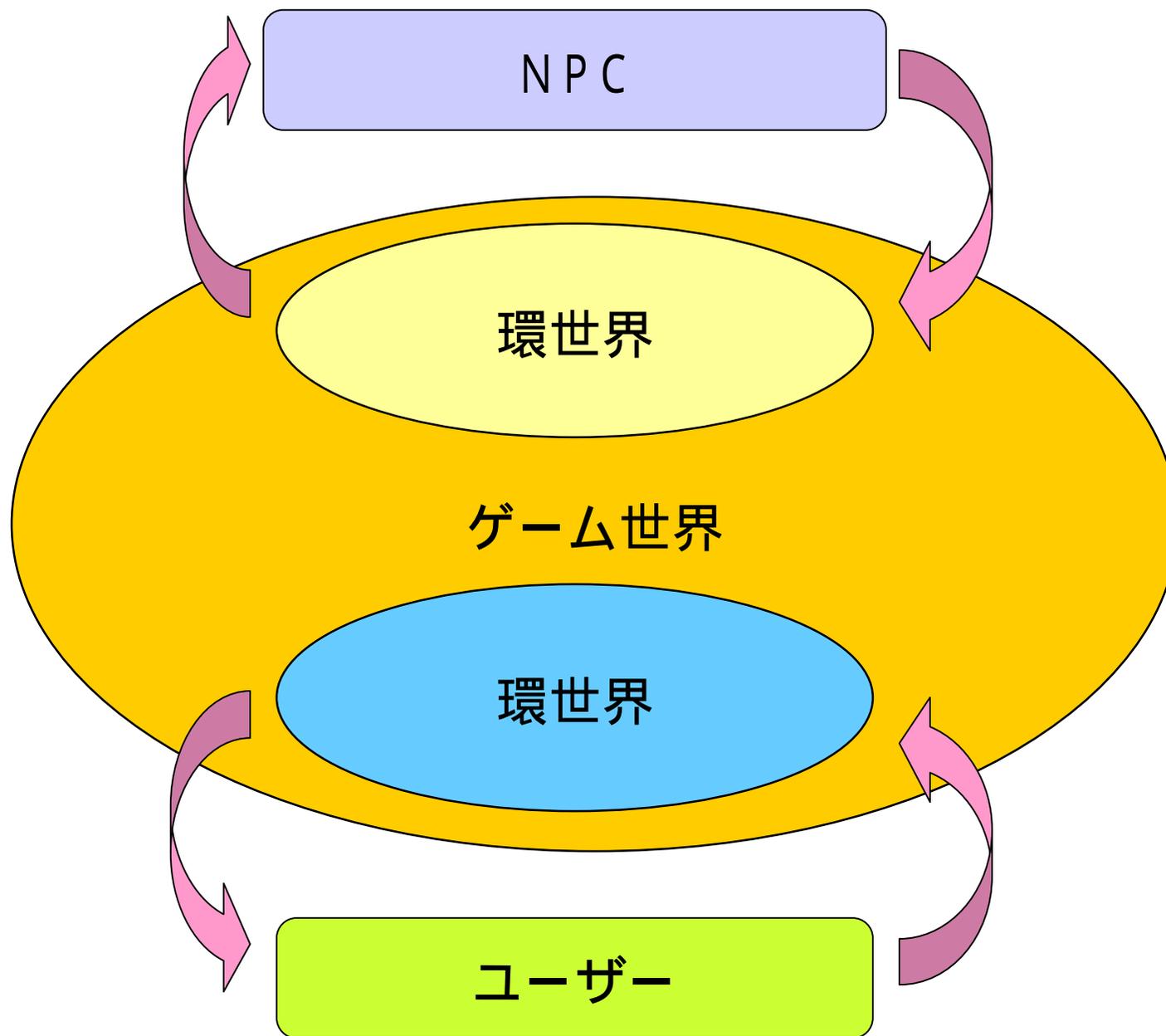
# NPCはゲーム世界から環世界を切り取る



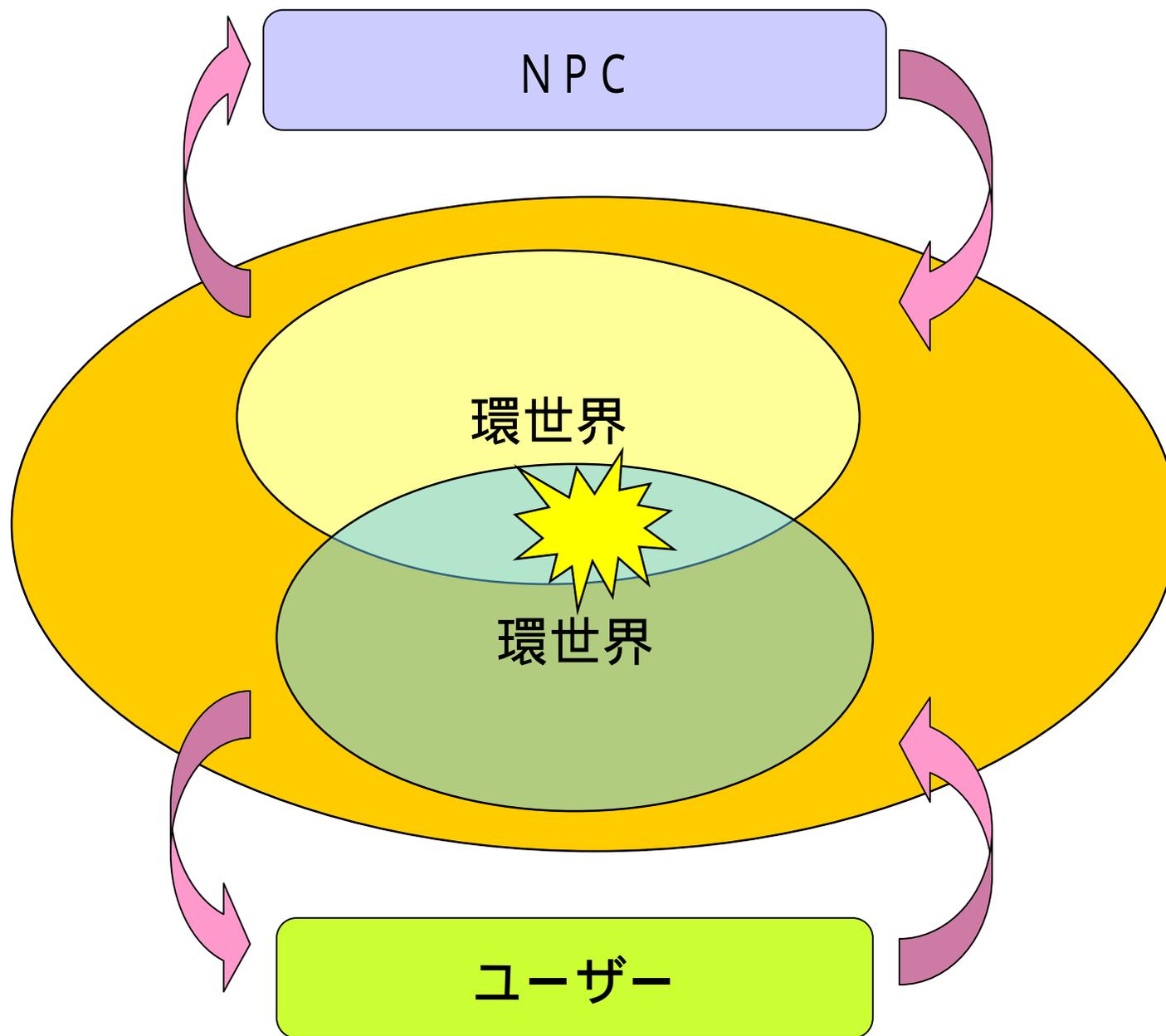
# NPCはゲーム世界から環世界を切り取る



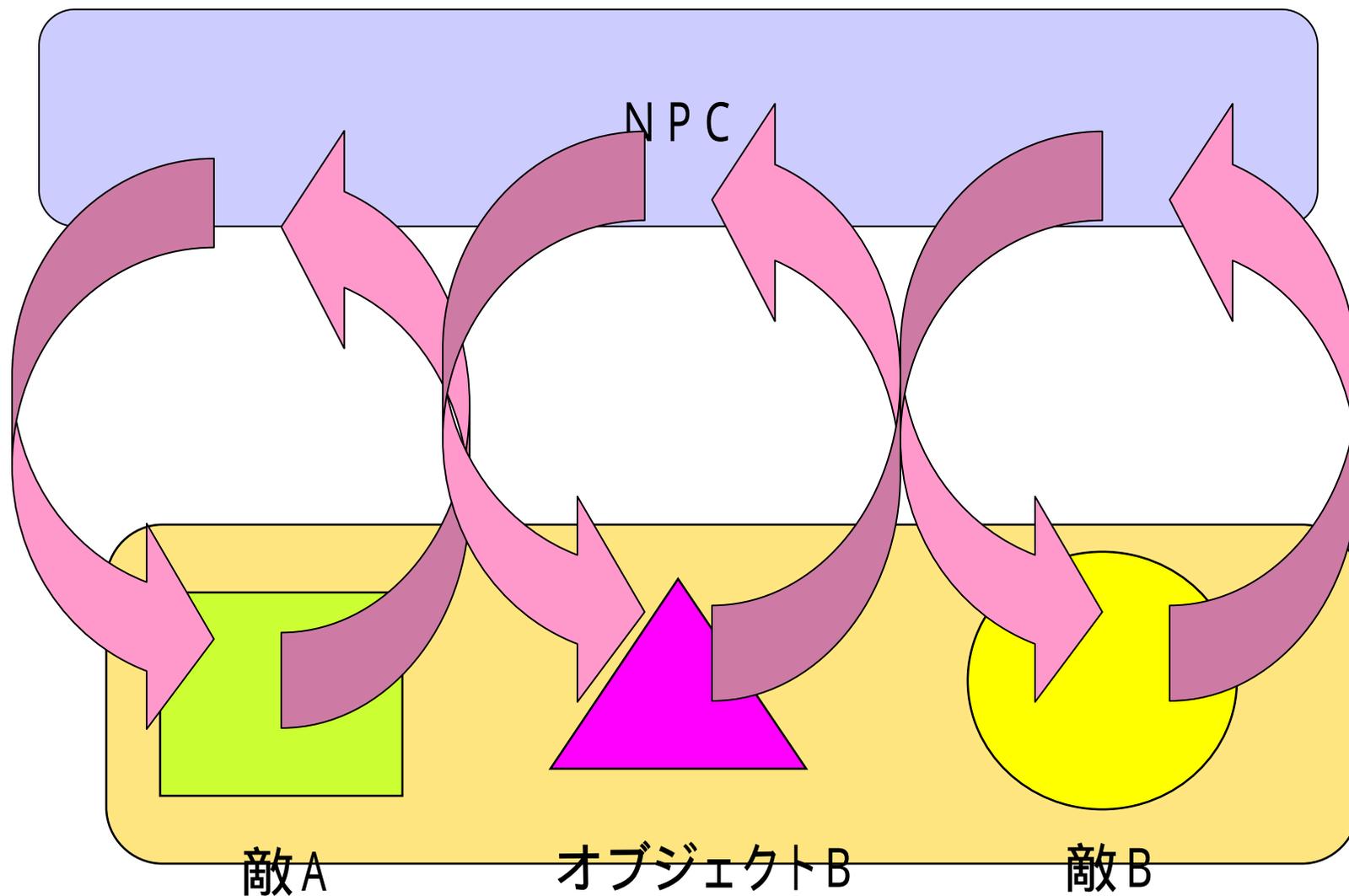
# ユーザー/NPCは同一のゲーム世界から環世界を構成する



# ユーザー/NPCは同一のゲーム世界から環世界を構成する



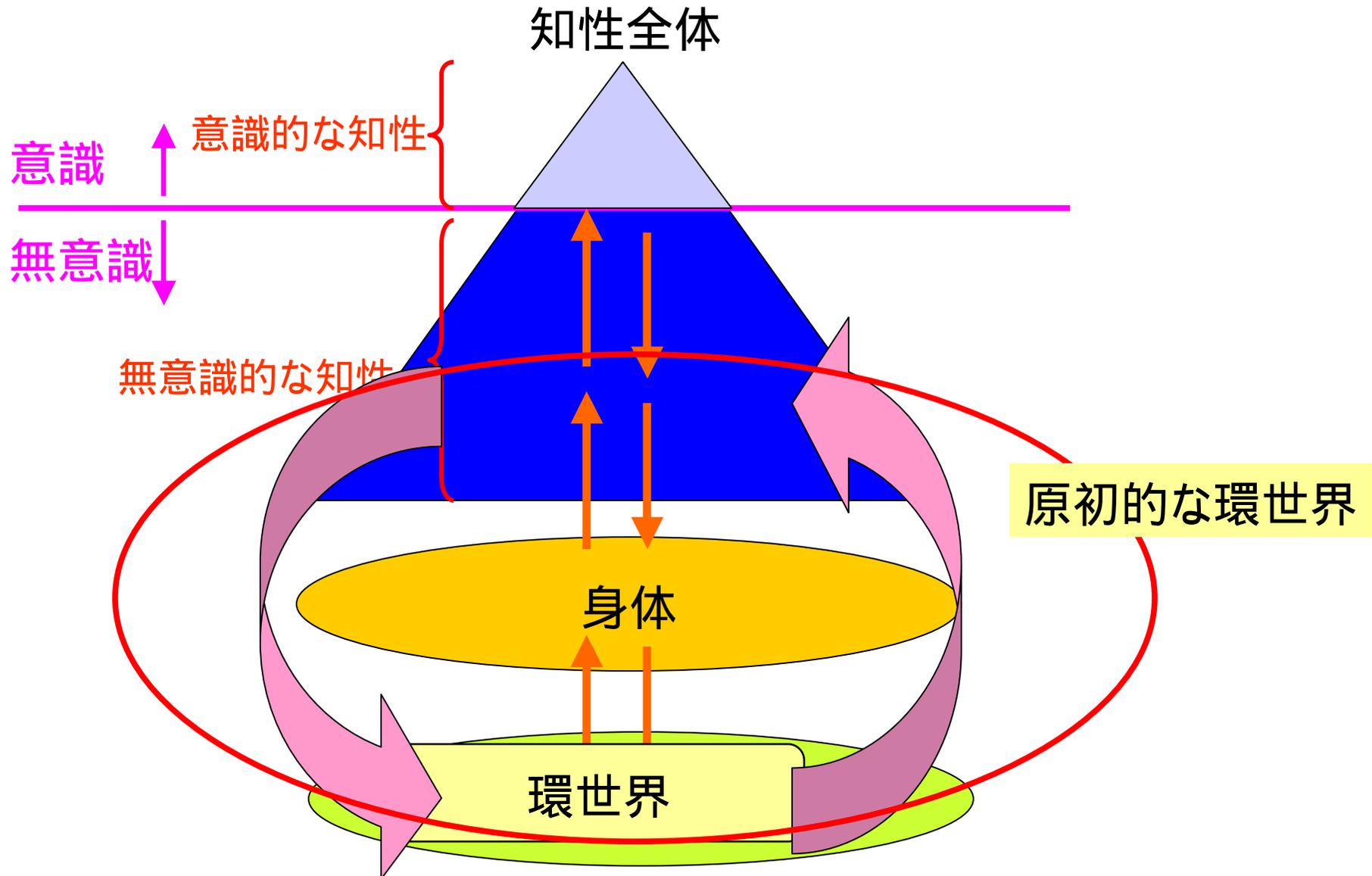
# 環世界の構成 = 作用と感覚のセット



極めてプリミティブな構成

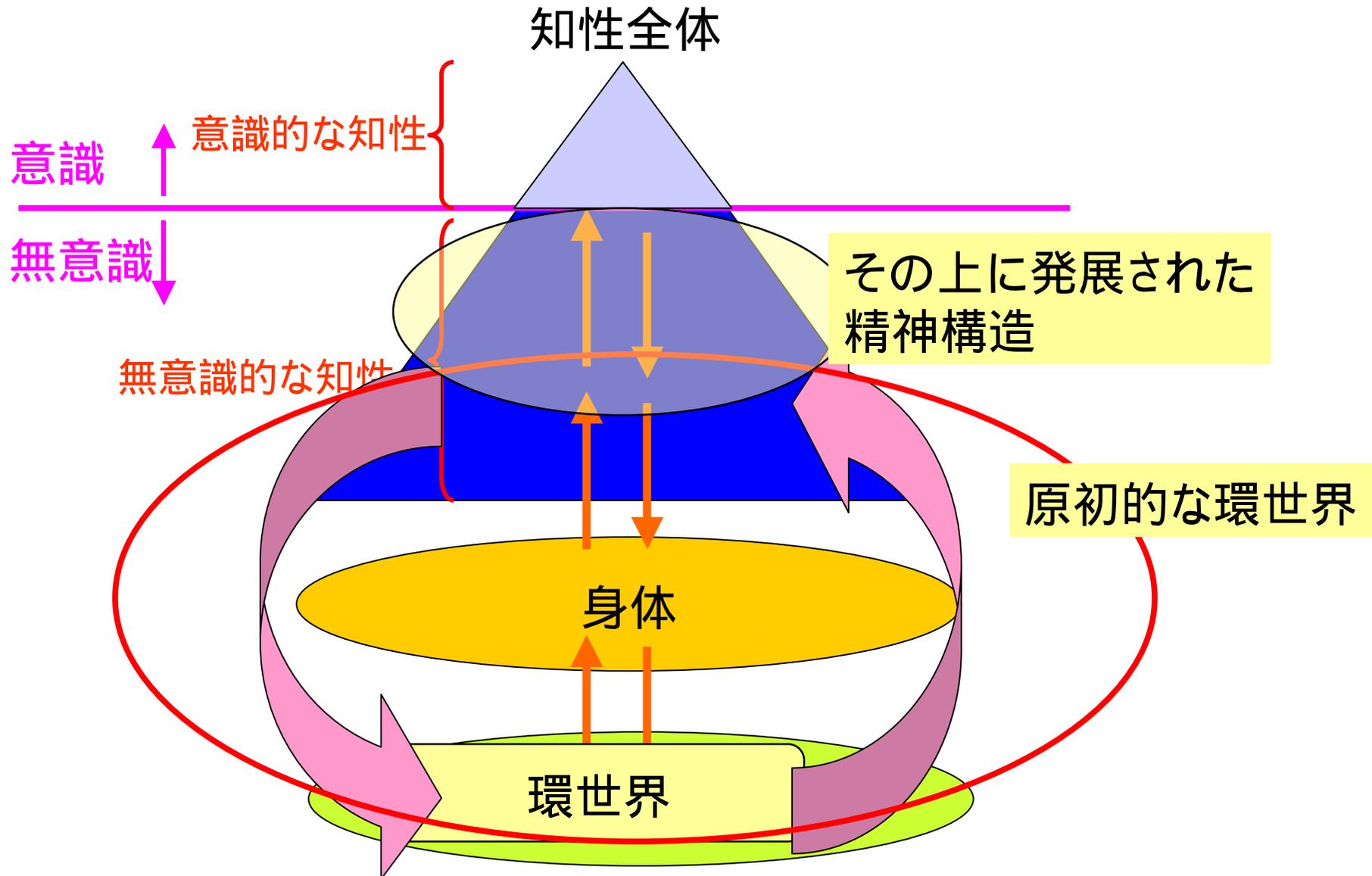
# 人間の環世界

高度に抽象化された環世界

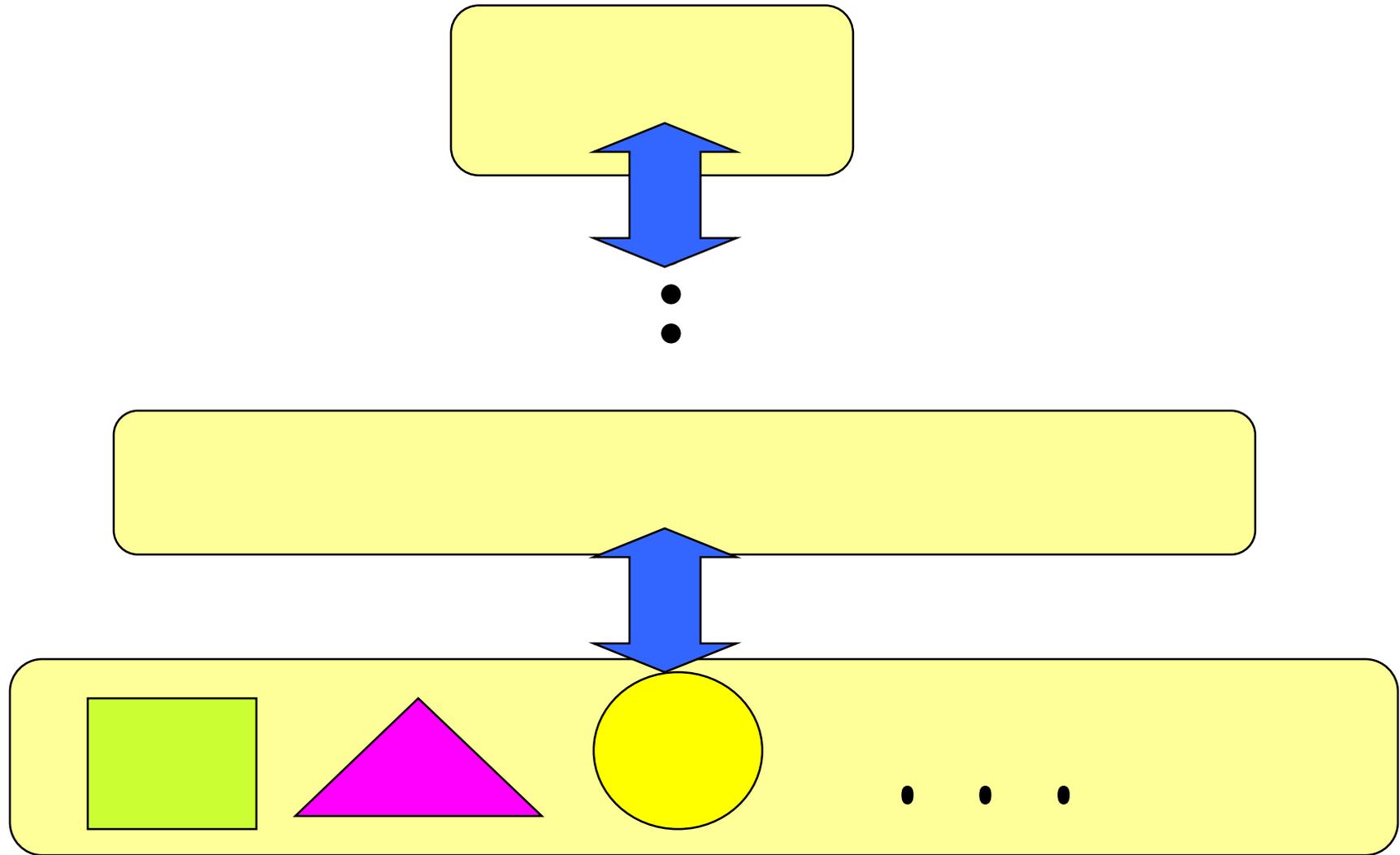


# 人間の環世界

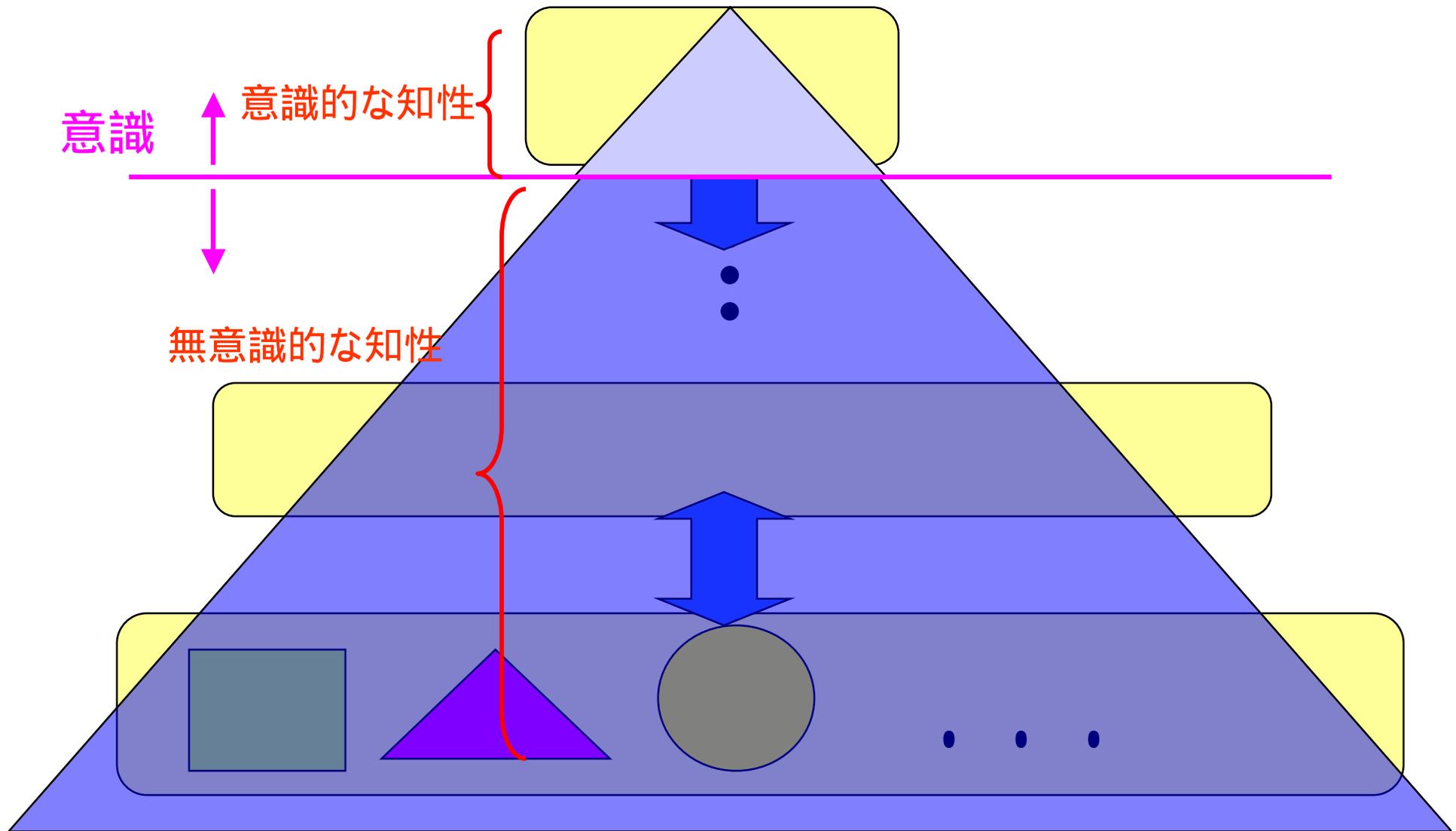
高度に抽象化された環世界



しかし、高度な知性は原初のプリミティブな  
衝動の上に多層的に知性を積み上げて来た



# 高度な知性は原初のプリミティブな 衝動の上に多層的に知性を積み上げて来た

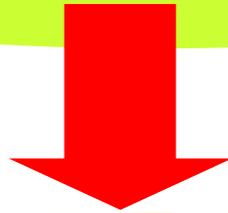


# 人がAIに求めるもの

人と人が持ち得るあらゆる感情・関係性の再現を求める



愛、罪、愛着、憎悪、憧れ、軽蔑、  
無関心、執着、忘却、嫉妬、  
信頼、疑惑、恋愛、殺意...

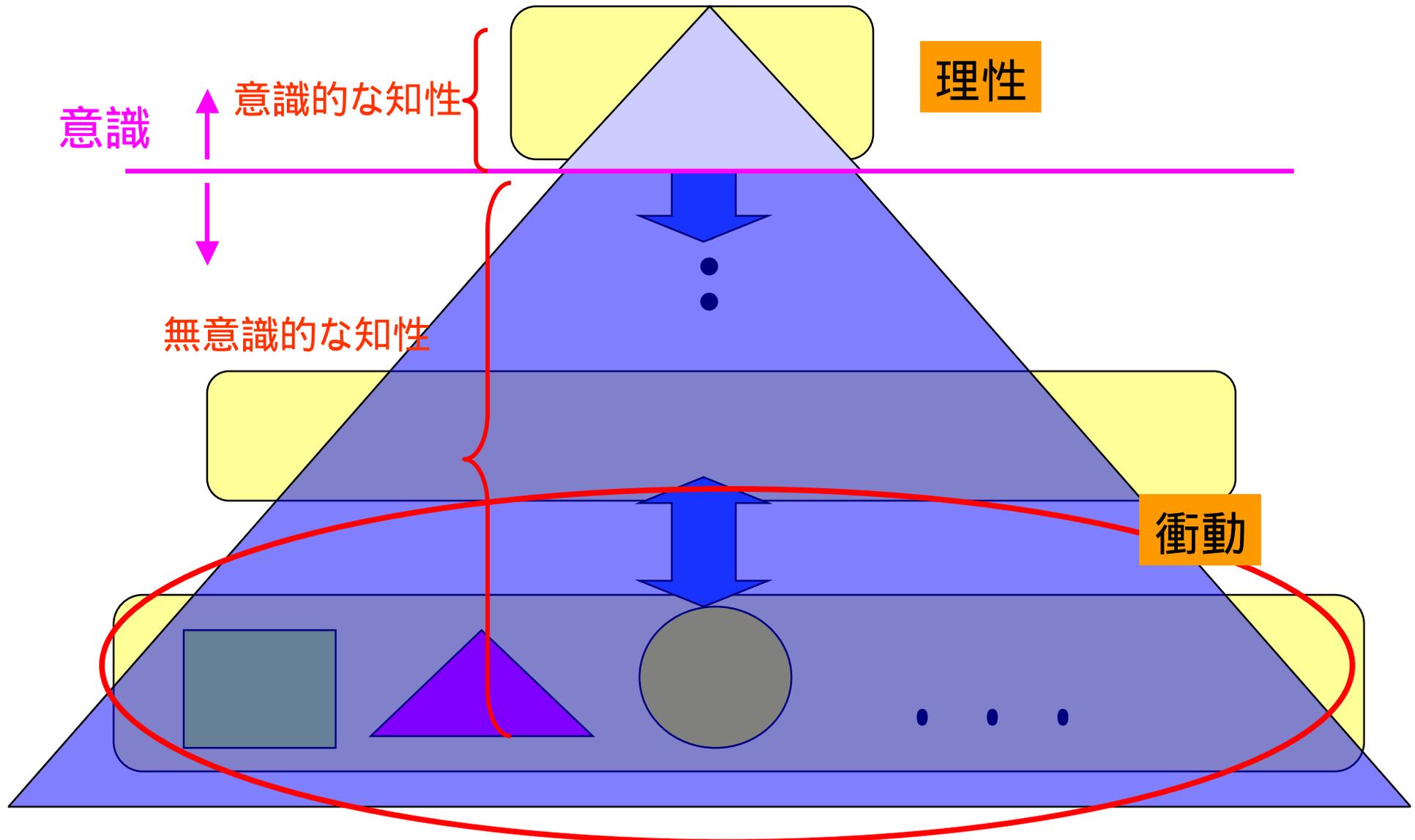


AI

愛、罪、愛着、憎悪、憧れ、軽蔑、  
無関心、執着、忘却、嫉妬、  
信頼、疑惑、恋愛、殺意...



# 高度な知性は原初のプリミティブな衝動の上に多層的に知性を積み上げて来た



# クロムハウنز ゴール総合図

状況に応じて、戦略を選ぶ知能が必要

ゴールを選択する意思決定機構

戦略層

選択

敵を叩く

通信塔  
占拠

味方を  
守る

本拠地  
防衛

敵本拠地  
破壊

味方を  
助ける

巡回  
する

敵基地  
偵察

複数のゴール

戦術層

パスを  
たどる

近付く

攻撃  
する

ある地点へ  
行く

合流  
する

巡回  
する

逃げる

振る舞い層

2点間を  
移動

歩く、一度  
止まる、歩く

静止  
する

後退  
する

前進  
する

敵側面  
へ移動

操作層

歩く

撃つ

止まる

# ゲームデザインのための 環世界の応用

# ゲームの面白さ

その世界がユーザーに対して適切な環世界を提供されていること。

その環世界においてマジックサークル(プレイとその報酬のサイクル)が確立されていること。

# メディアが変化させる環世界： ゲームユーザーの環世界

ゲームユーザーは、デジタルゲームに対して環世界を構築する。



Third-generation  
and body language  
monitored using  
Sony SDC-PTZ  
camera (model 22).

PC with Gaming PC,  
monitoring and  
flashing camera  
equipment.

PC with separate  
monitoring PC, possibly  
with touch screen,  
for real-time game  
feedback.



# ゲームデザインとユーザー環世界

ゲームをデザインすること  
= ユーザーに環世界を形成させ、  
そこで行動させること

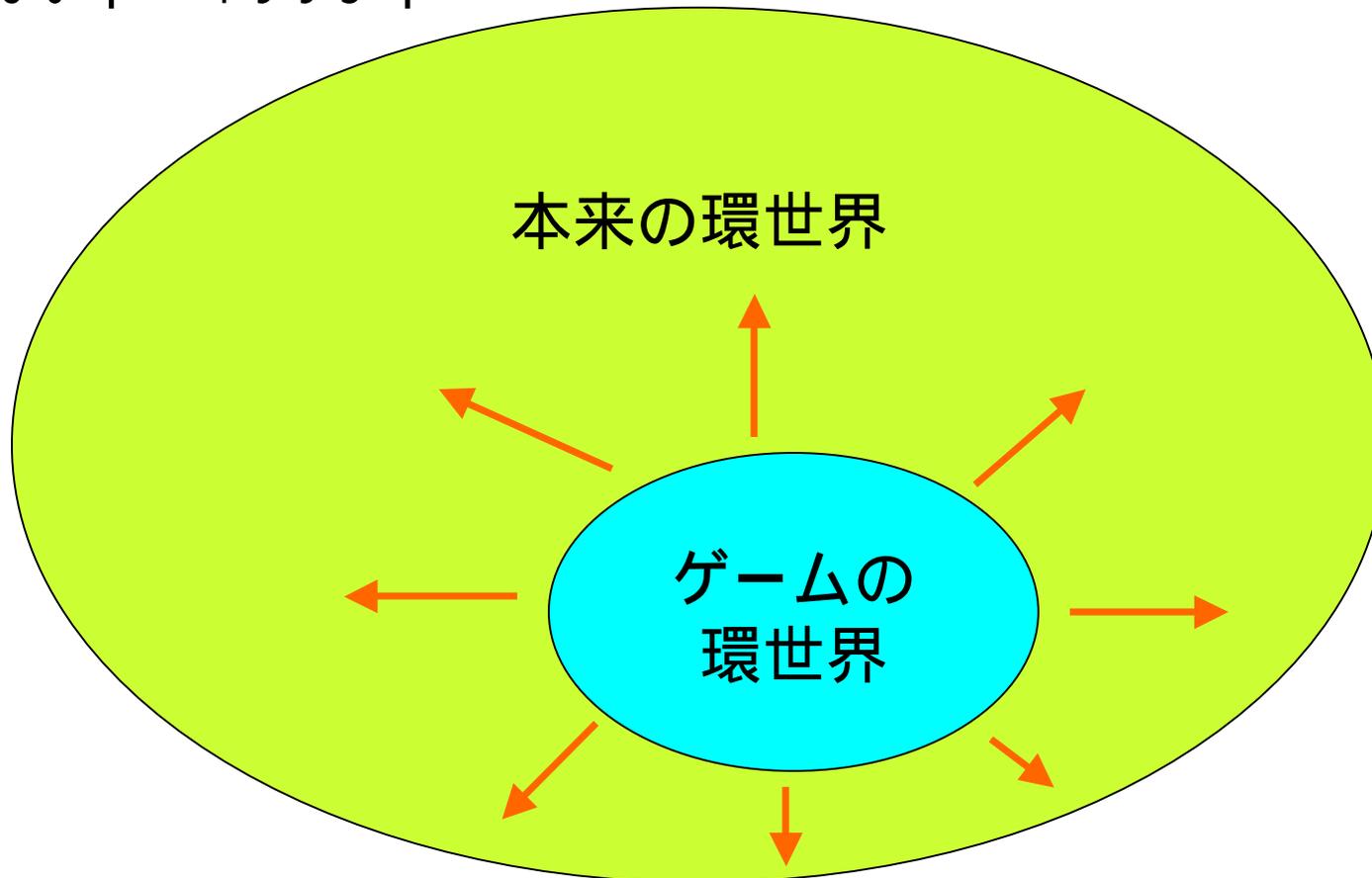
テトリスの  
環世界

FF11の環世界

ギャルゲーの  
環世界

# 現代人が持つ環世界の変化

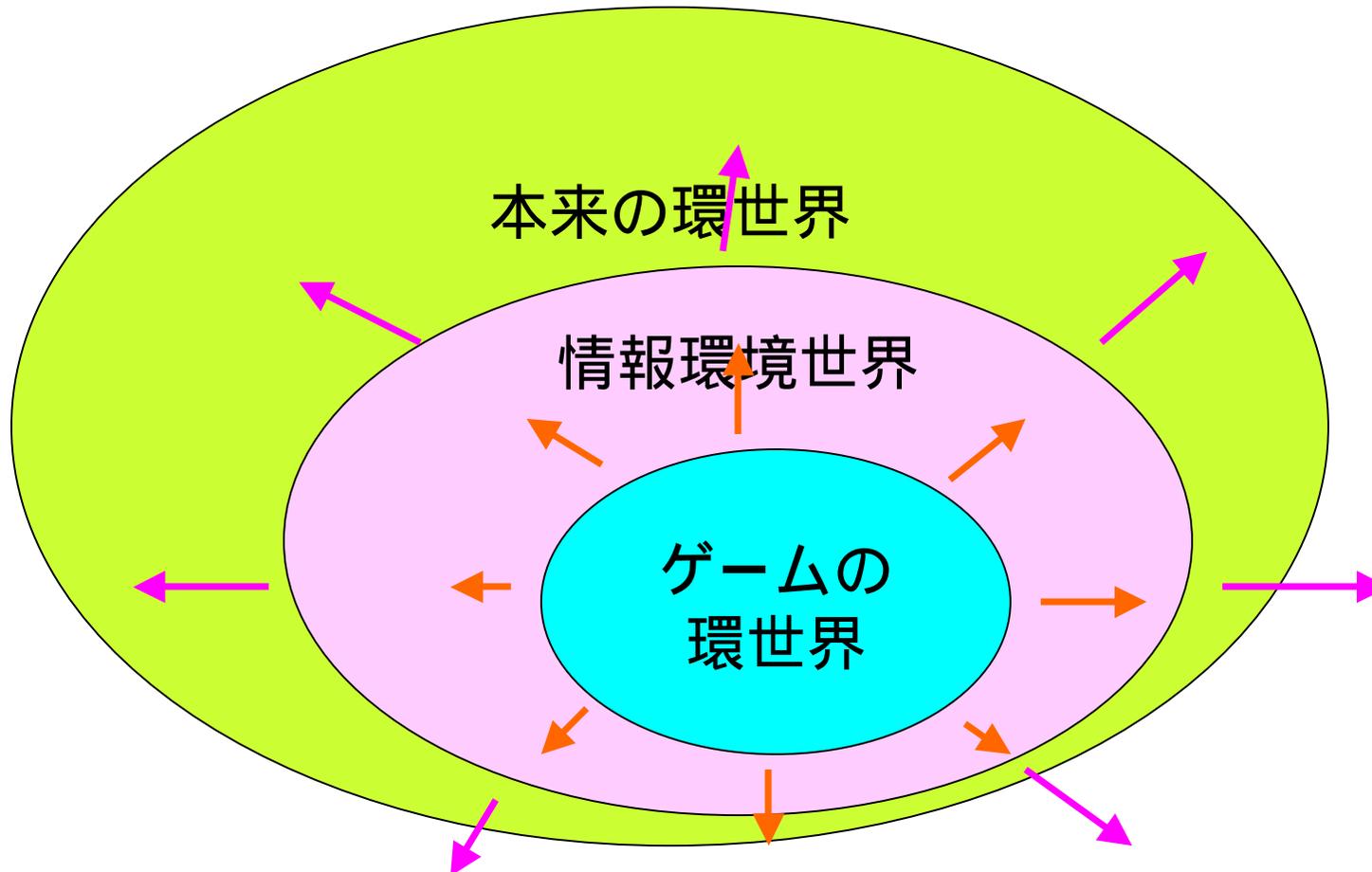
1980年-1995年



# 現代人が持つ環世界の変化

1995年－2002年

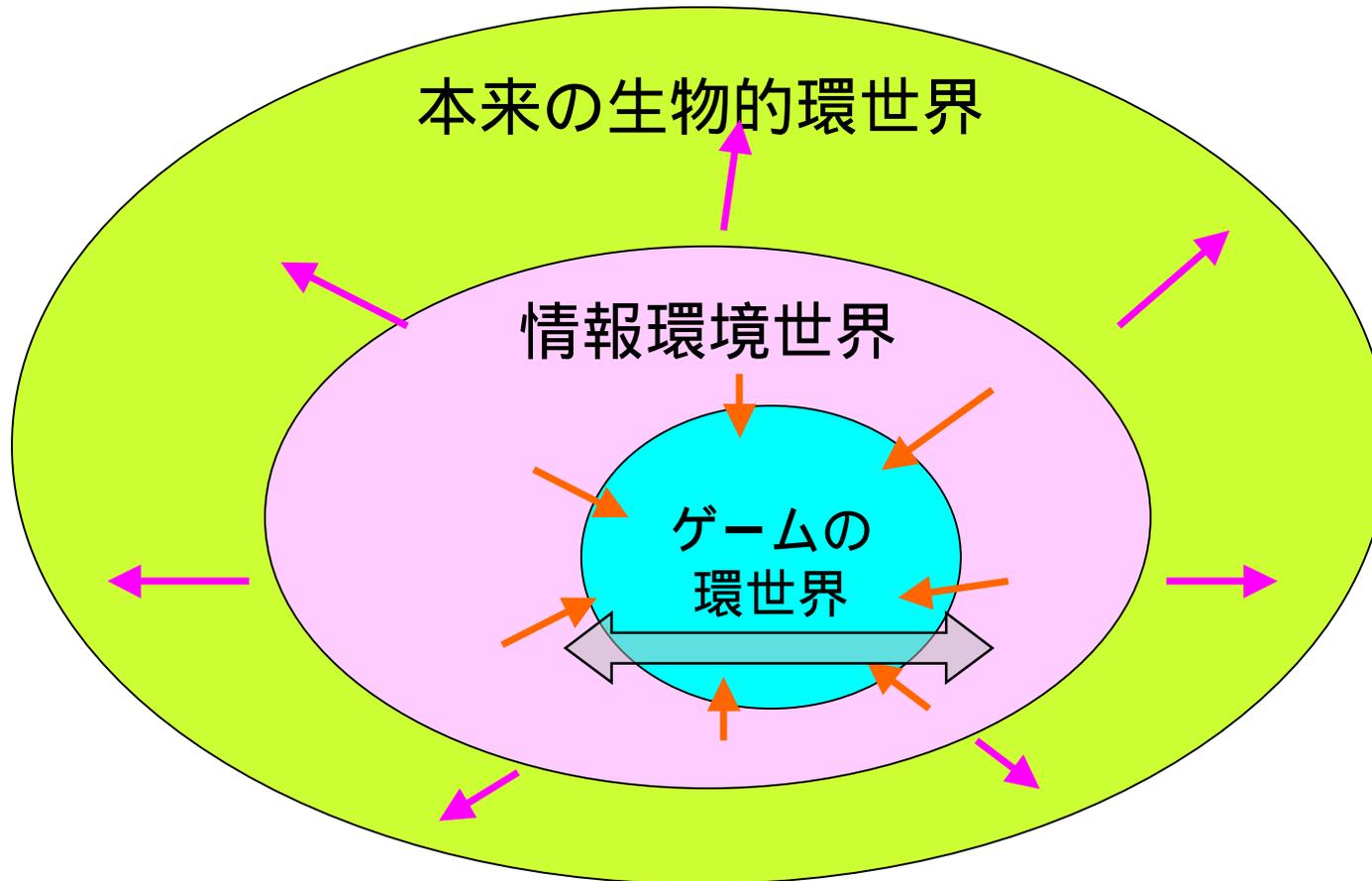
情報環境世界の拡大とゲーム世界の拡大



# 現代人が持つ環世界の変化

2002年－2009年

情報環境世界の拡大とゲーム環世界の縮小  
ゲームによって満たされていた仮想安心感の縮小



ゲーム環世界の位置が揺らいでいる

# まとめ

ユーザーがAIに求める根底には、  
バイオフィリアがある。

生態学的AIのキーはアフォーダンスと  
環世界である。

環世界から階層的にAIを構成することで、  
衝動から理性までを含めたAIを構成する  
ことが出来る。

ご清聴ありがとうございました。

## 質疑応答

これ以外に、意見や質問があれば、メールへ

[y\\_miyake@fromsoftware.co.jp](mailto:y_miyake@fromsoftware.co.jp)

# ゲームAIメイリングリスト

- 毎日、配信！（三宅から）

ご清聴ありがとうございました。



Photo from <http://www.cyberleaf.com/>

これ以外に、意見や質問があれば、メールかアンケートへ

**[y\\_miyake@fromsoftware.co.jp](mailto:y_miyake@fromsoftware.co.jp)**

(IGDA Japan登録アドレス [yoichi-m@pk9.so-net.ne.jp](mailto:yoichi-m@pk9.so-net.ne.jp), [y.m.4160@gmail.com](mailto:y.m.4160@gmail.com) )

<http://www.igda.jp>

# 付録:

2009年10月に韓国ゲームカンファレンスで行なった講演資料。内容的に重複するところがあるので付属させておきます。

# The History and Fundamental of Digital Game AI

KGC 2009

Youichiro Miyake

(FromSoftware)

**`y_miyake@fromsoftware.co.jp`**

*2009.10*

# Self-Introduction

## [Thesis]

**Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence 23(1) pp.44-51 20080101**

**How to Use AI Technologies to Develop Digital Games (<Special Issue> Game AI)**

## [Report]

**Digital Content Association of Japan**

**3<sup>rd</sup> Chapter, Game AI (2007)**

**[http://www.dcaj.org/report/2007/data/dc08\\_07.pdf](http://www.dcaj.org/report/2007/data/dc08_07.pdf)**

**3<sup>rd</sup> Chapter, Programming AI**

**[http://www.dcaj.org/report/2008/data/dc\\_08\\_03.pdf](http://www.dcaj.org/report/2008/data/dc_08_03.pdf)**

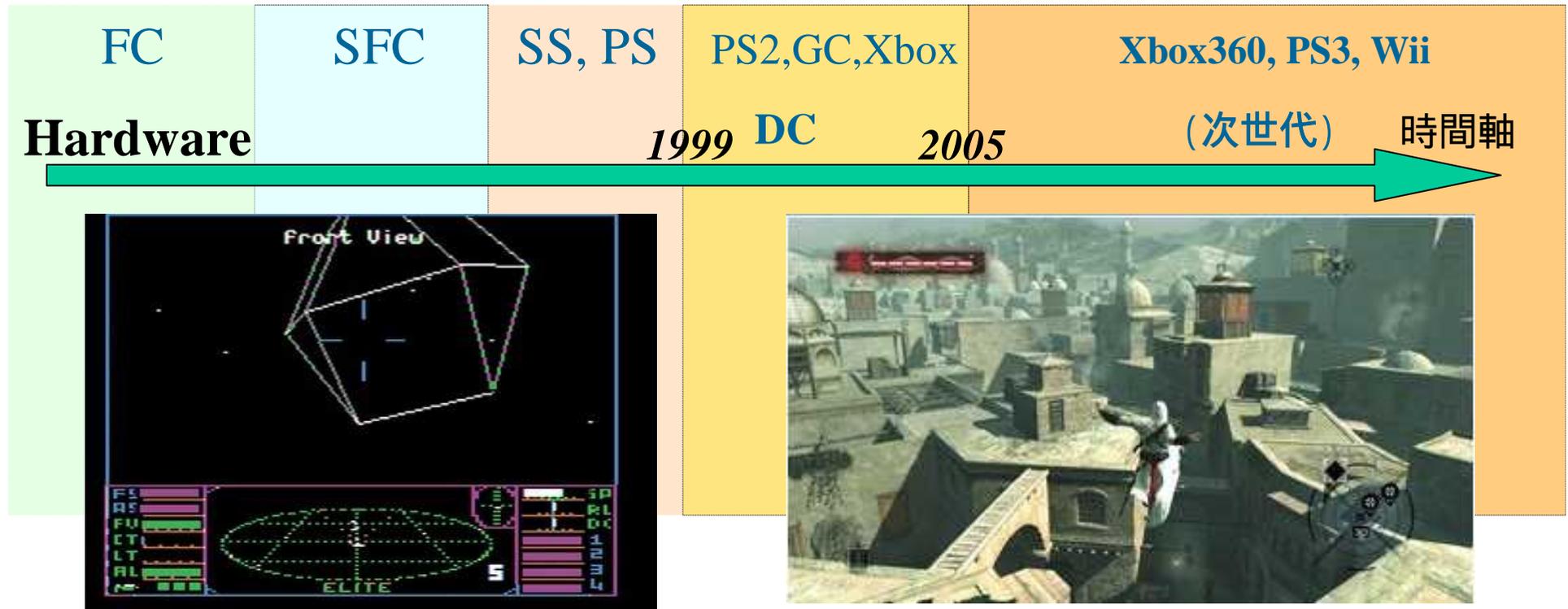
## [Interview]

**[http://gamez.itmedia.co.jp/games/articles/0901/08/news129\\_3.html](http://gamez.itmedia.co.jp/games/articles/0901/08/news129_3.html)**

**<http://gamez.itmedia.co.jp/games/articles/0901/09/news075.html>**

**[Blog] <http://blogai.igda.jp/>**

# Game Evolution and AI



*Simple World,  
Simple AI*



*Complex World,  
Complex AI*

*AI & its body becomes complex as Game World becomes complex.*

# *Chapter 1. What is Intelligence ?*

The fundamental

*What is Intelligence ?*

*What is Intelligence ?*

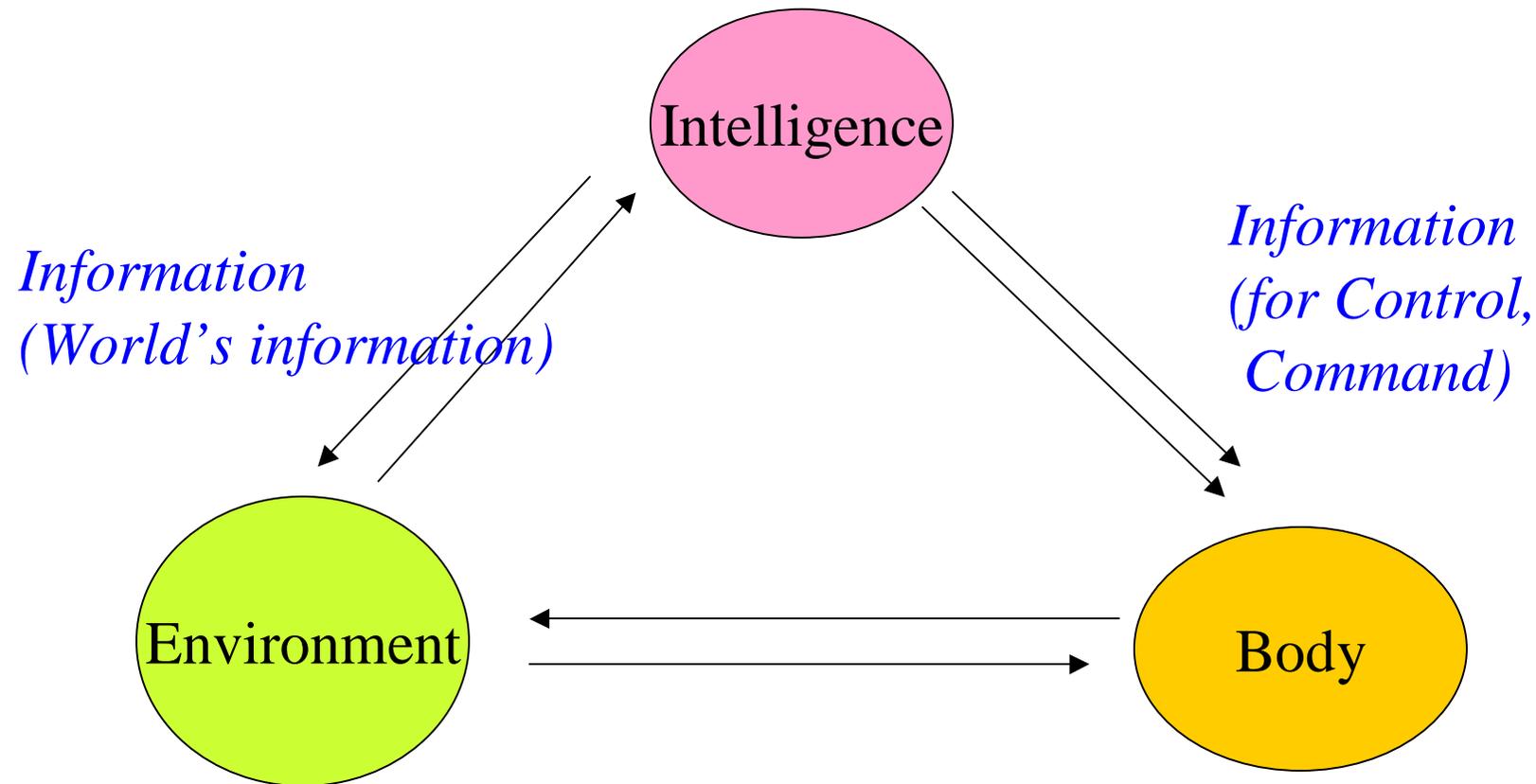
*Have you thought about it ?*

*Is Intelligence thought ?*

*Is intelligence knowledge?*

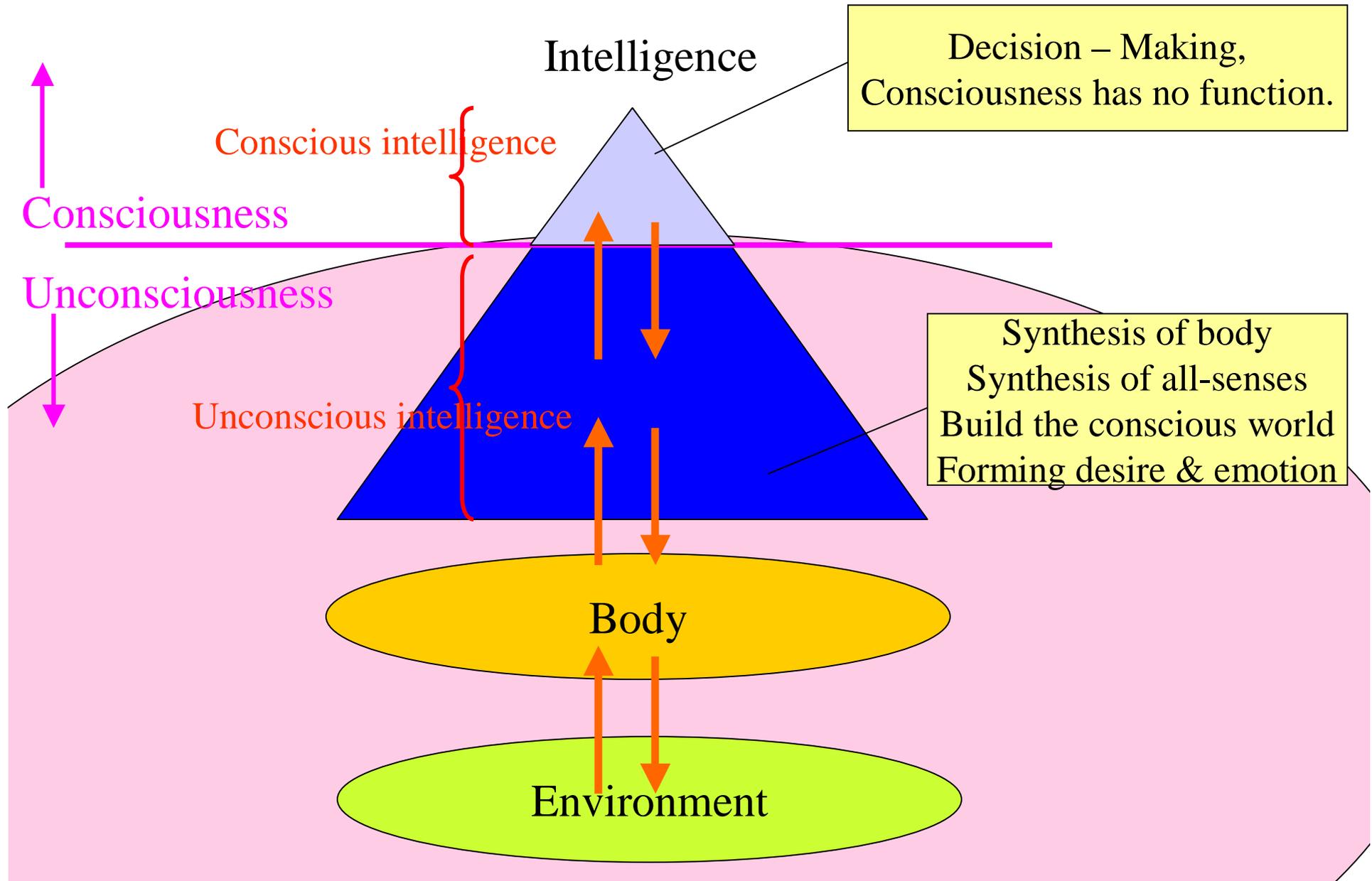
*Is Intelligence different form ability ?*

# 「Environment - Intelligence - Body」 correlation diagram



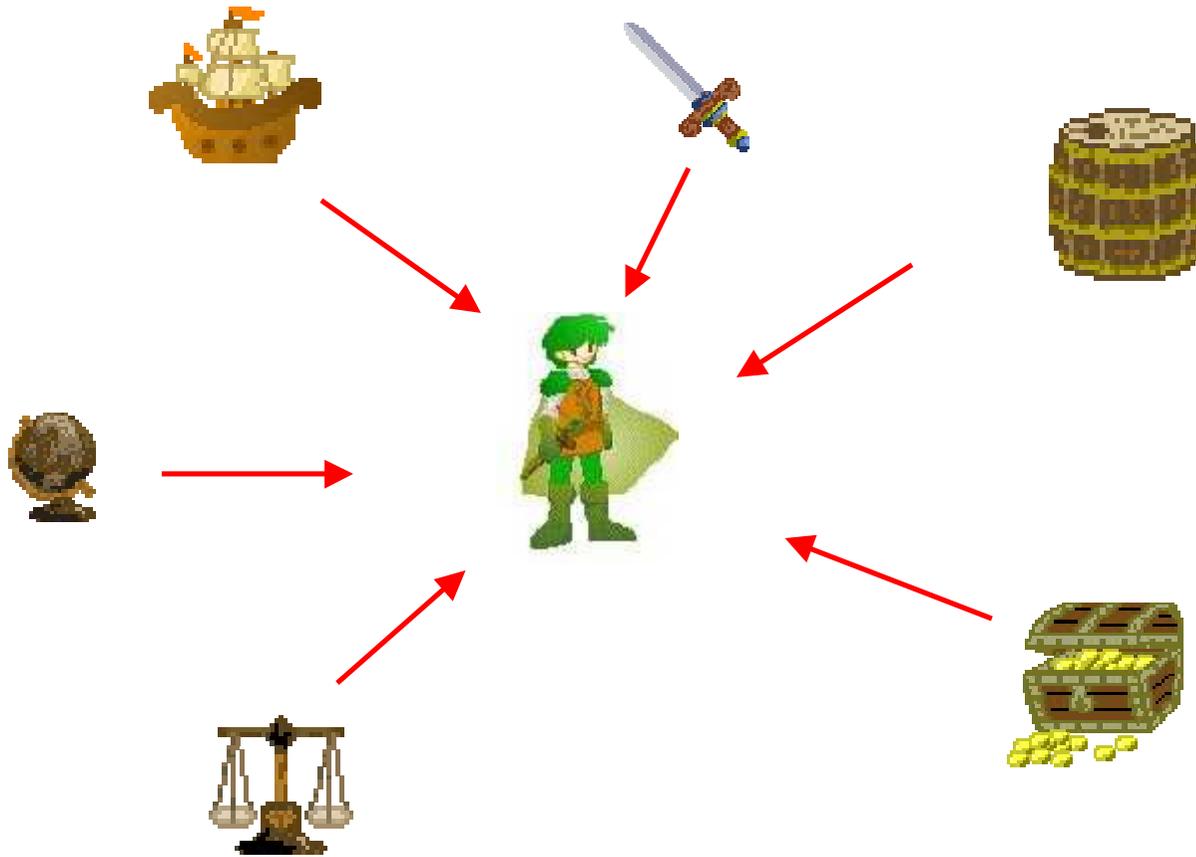
Intelligence cannot be defined by itself. Intelligence should be defined on the correlation of Intelligence, Body, and Environment.

# Consciousness/Unconsciousness

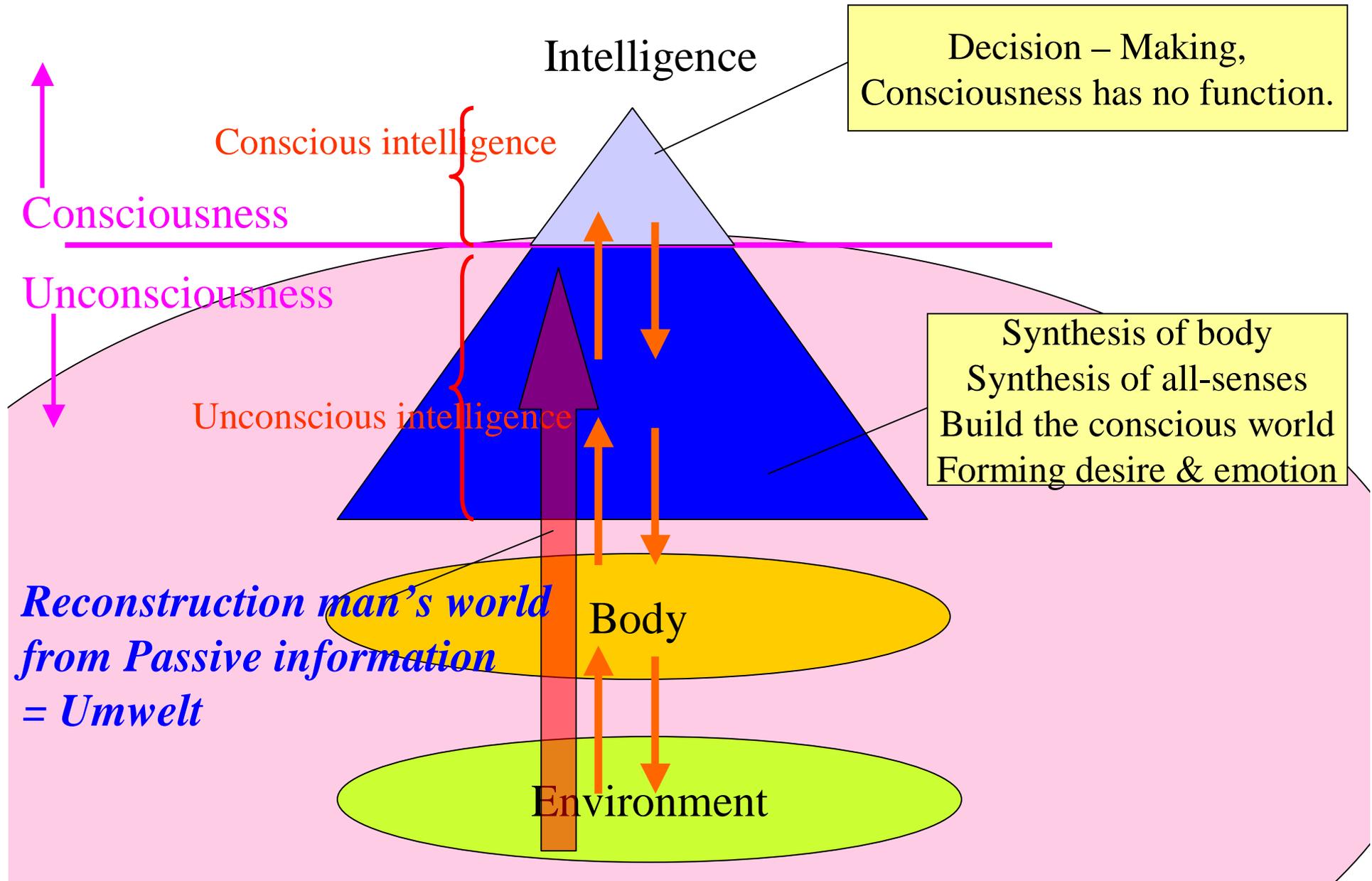


# What is Environment for AI ?

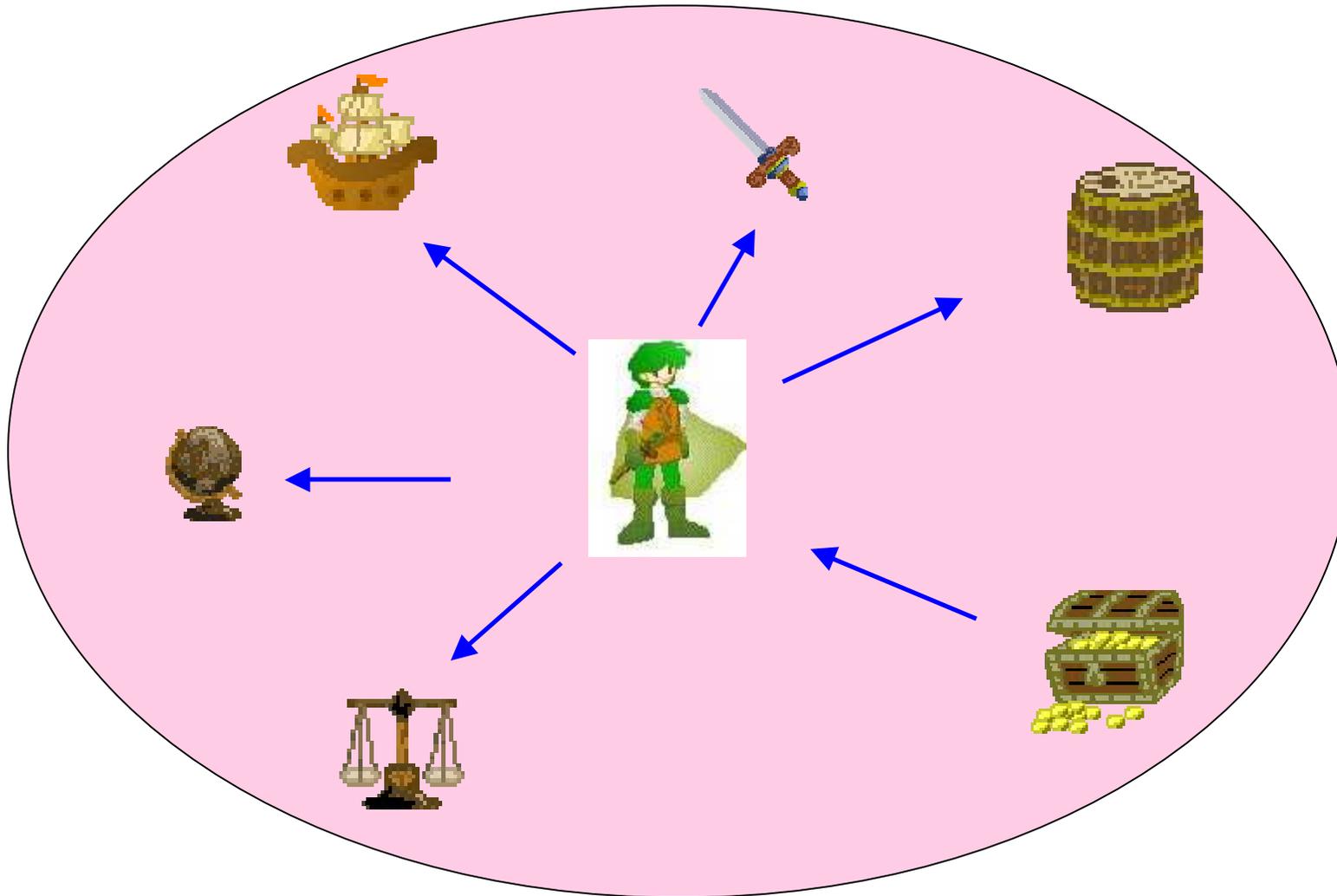
## Are sensors passive ?



# Consciousness/Unconsciousness

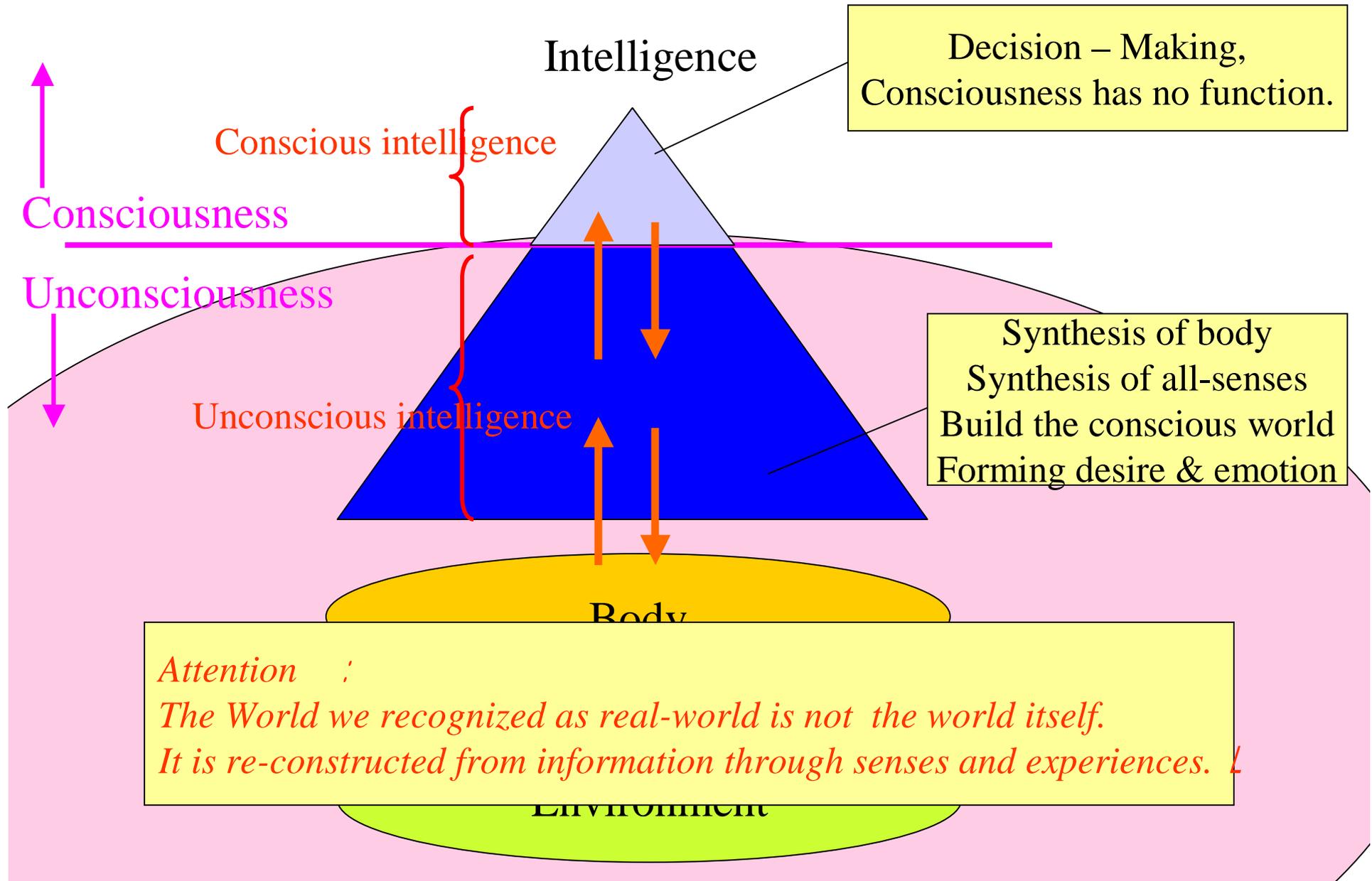


A man lives in the world he/she  
reconstructs from environment information.



All object a man recognizes is interpreted in relation to his/her action.  
(=Affordance)

# Consciousness/Unconsciousness

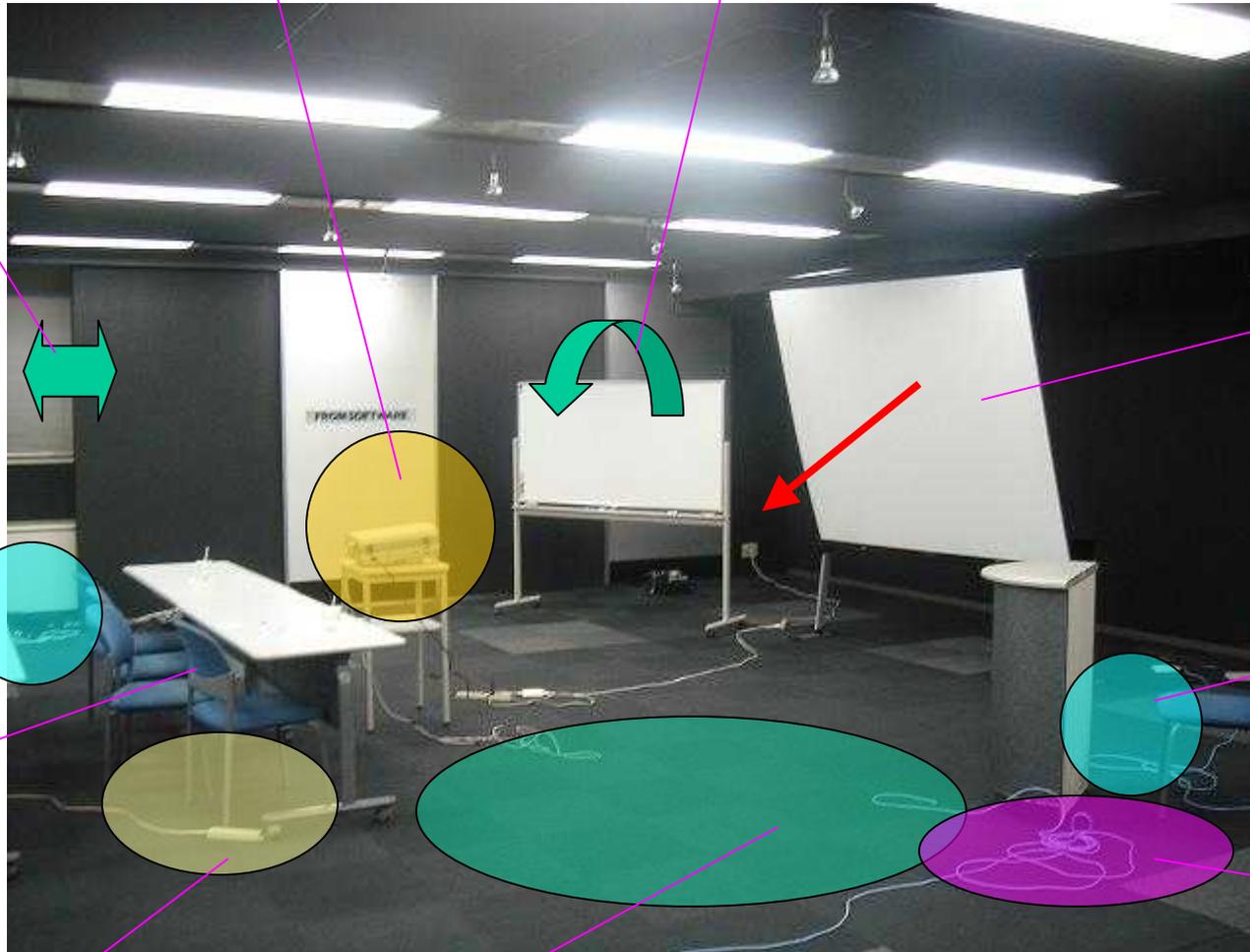


Human intelligence implements many information for his body-action in the objects of the world under his unconsciousness.

*Can slide*

*Turn on and project*

*Can bend*



*Turn*

*Not pass*

*Not pass*

*Pull and sit*

*fall*

*Can connect*

*Can pass through*

***These information enable human's actions.***

## *Affordance*

= *actions possible for AI to take  
in the environment*

= *An environment suggests  
actions*

# (Example) Halo2

Affordance = Actions in Environment AI can take

Affordance: “Drive” and direction to move

In Halo2, affordance(actions AI can takes) is implemented in Objects.



## Spatial Object Features

Much like “Affordances” (Gibson, Norman, Wright)

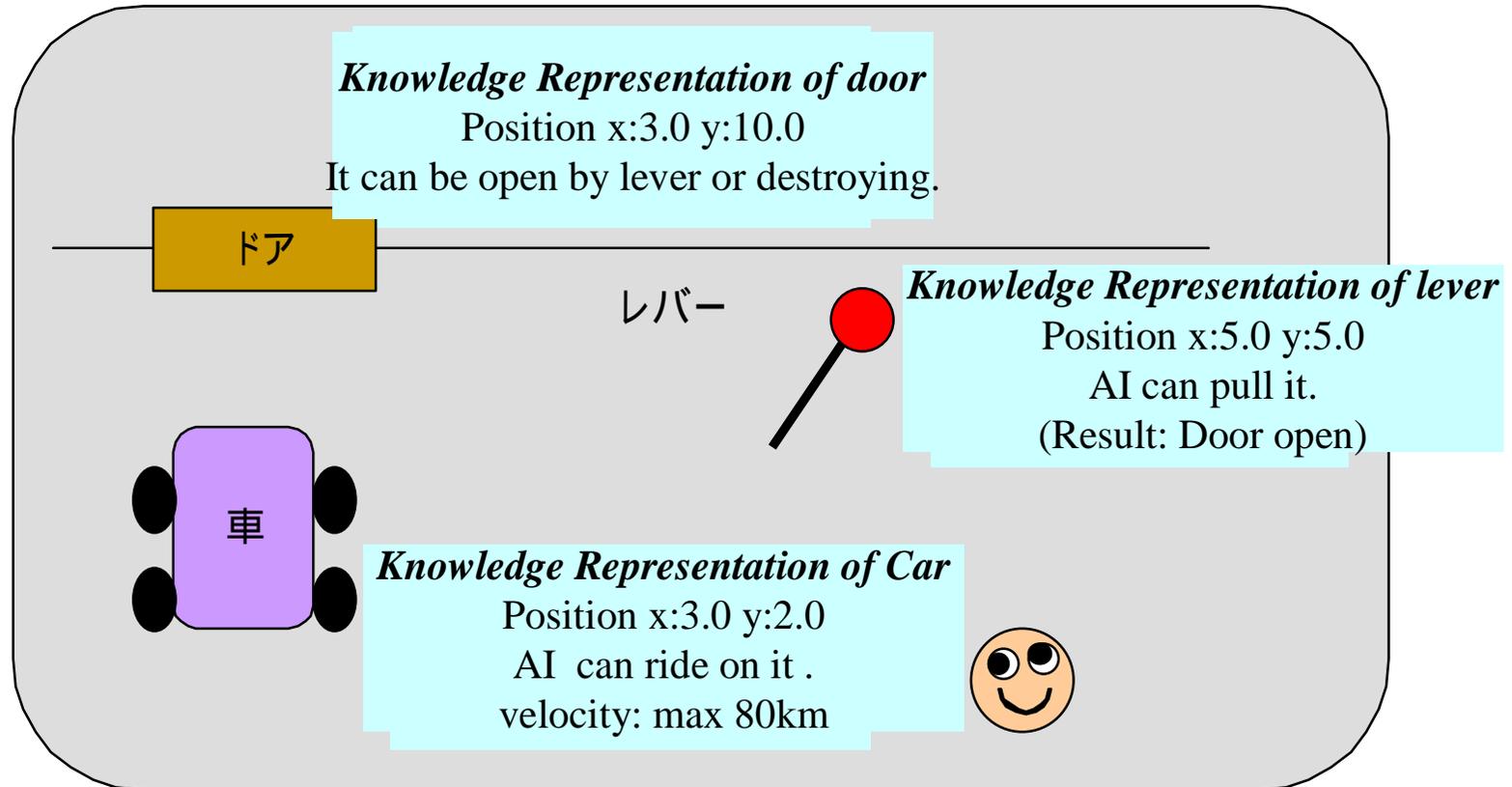
- An object advertises the things that can be done with / to it
- But they must do so in a geometrically precise way in order to be useful



Implementation: “object markers”

- Rails or points
- Orientation vector indicates when the affordance is active
- An object has different properties at different orientations

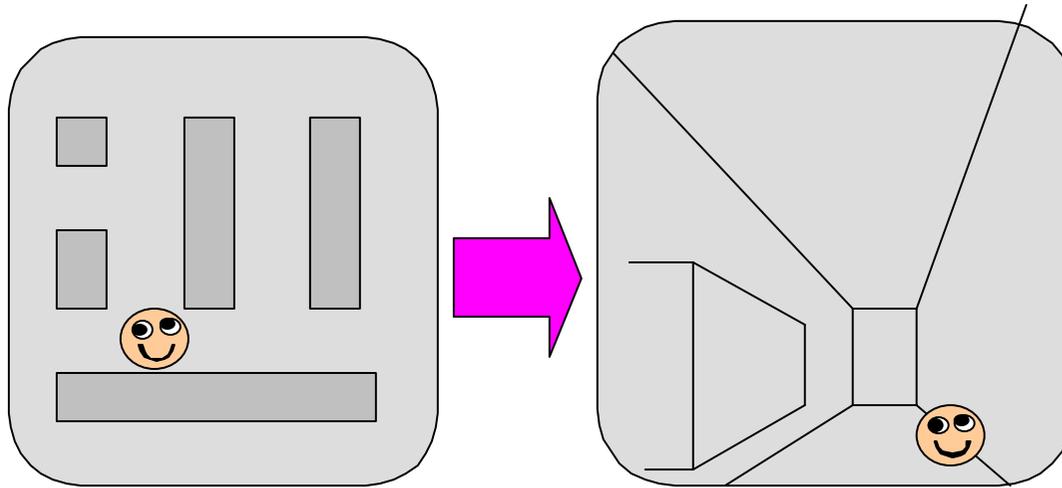
# Knowledge Representation



## *Knowledge Representation for game AI*

Objects should be implemented with useful knowledge that AI can use to recognize a Game World precisely.

# 2D/3D Affordance

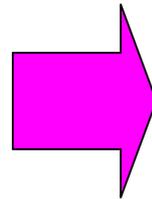


Control from a top-view

many ray-cast calculations  
(fire-line calculations)  
Control from AI's view

# Comparison with 2D-AI and 3D-AI

PACMAN



PACMAN



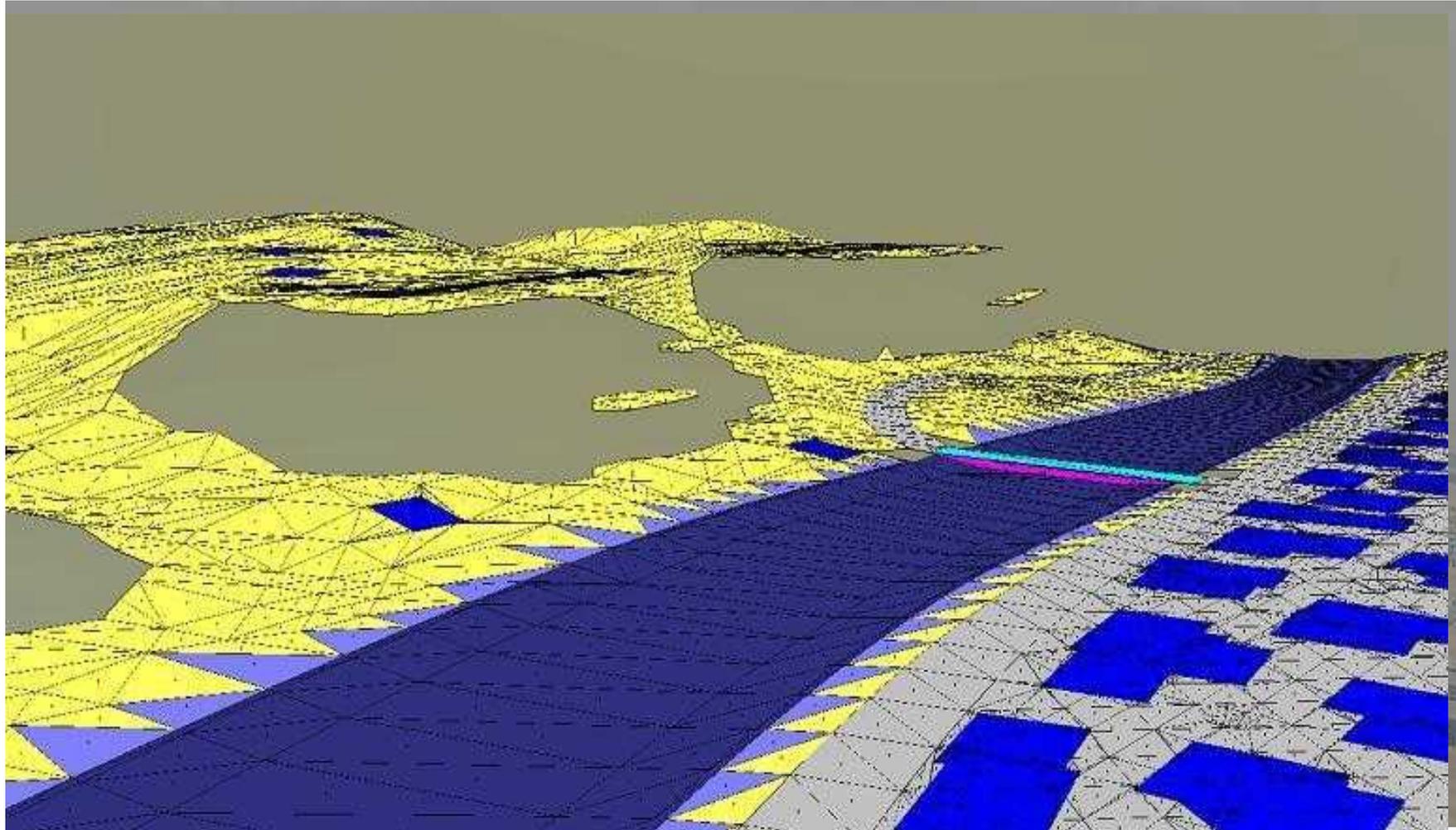
Halo



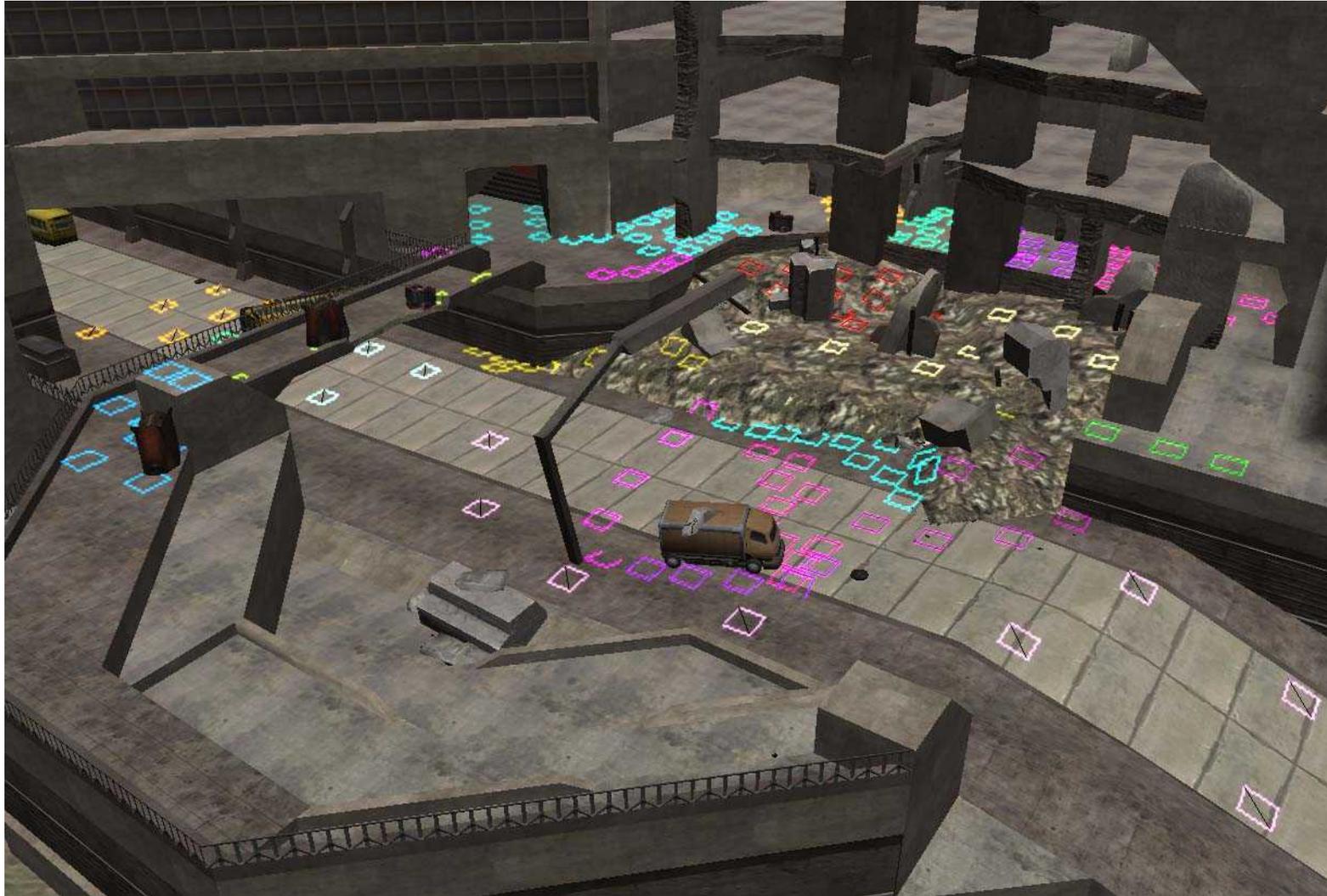
# Navigation Mesh with the state of terrain surface



# Navigation Mesh with the state of terrain surface



# Halo2 : World Representation



# Halo2 : World Representation



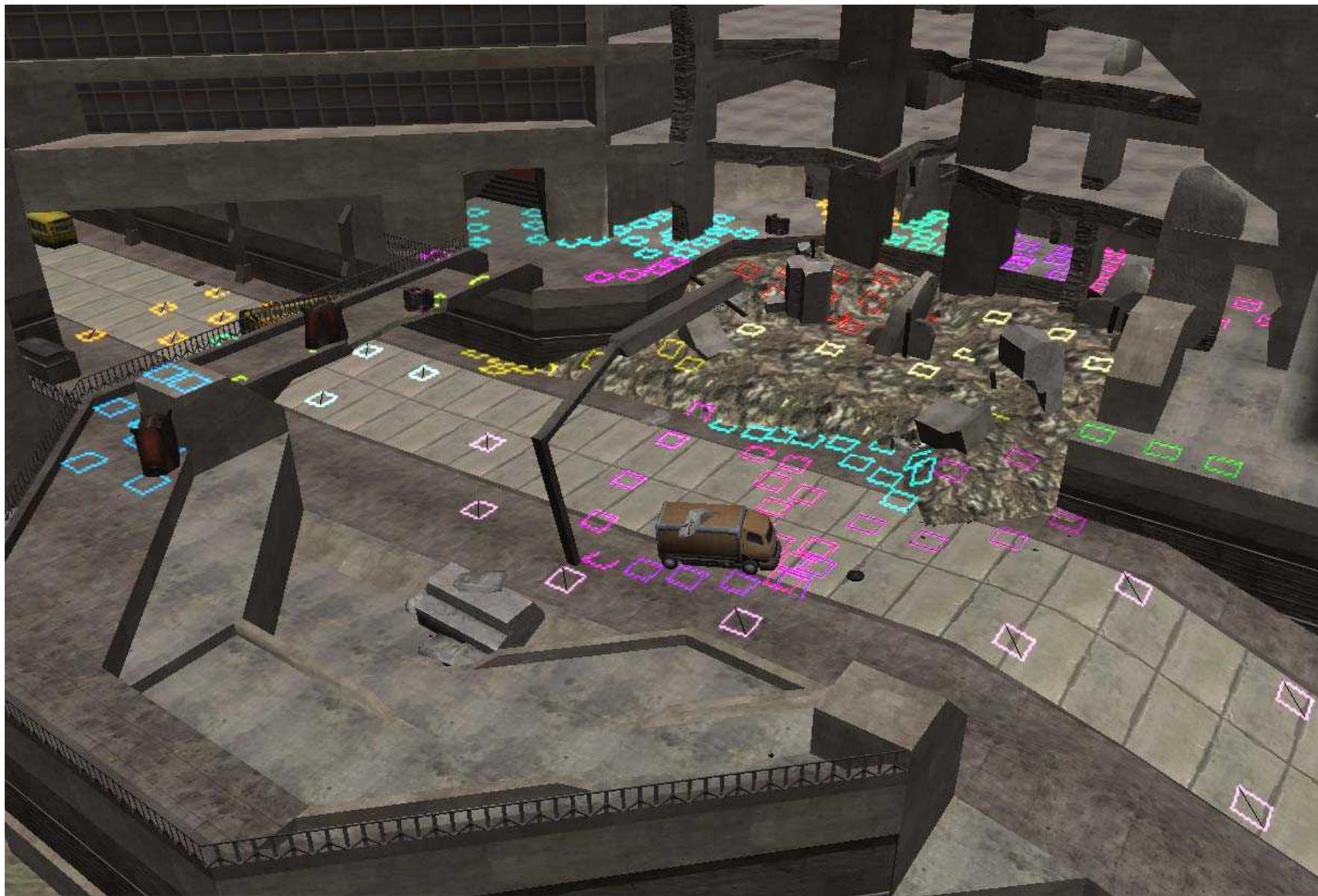
# Halo2 : World Representation



# Halo2 : World Representation



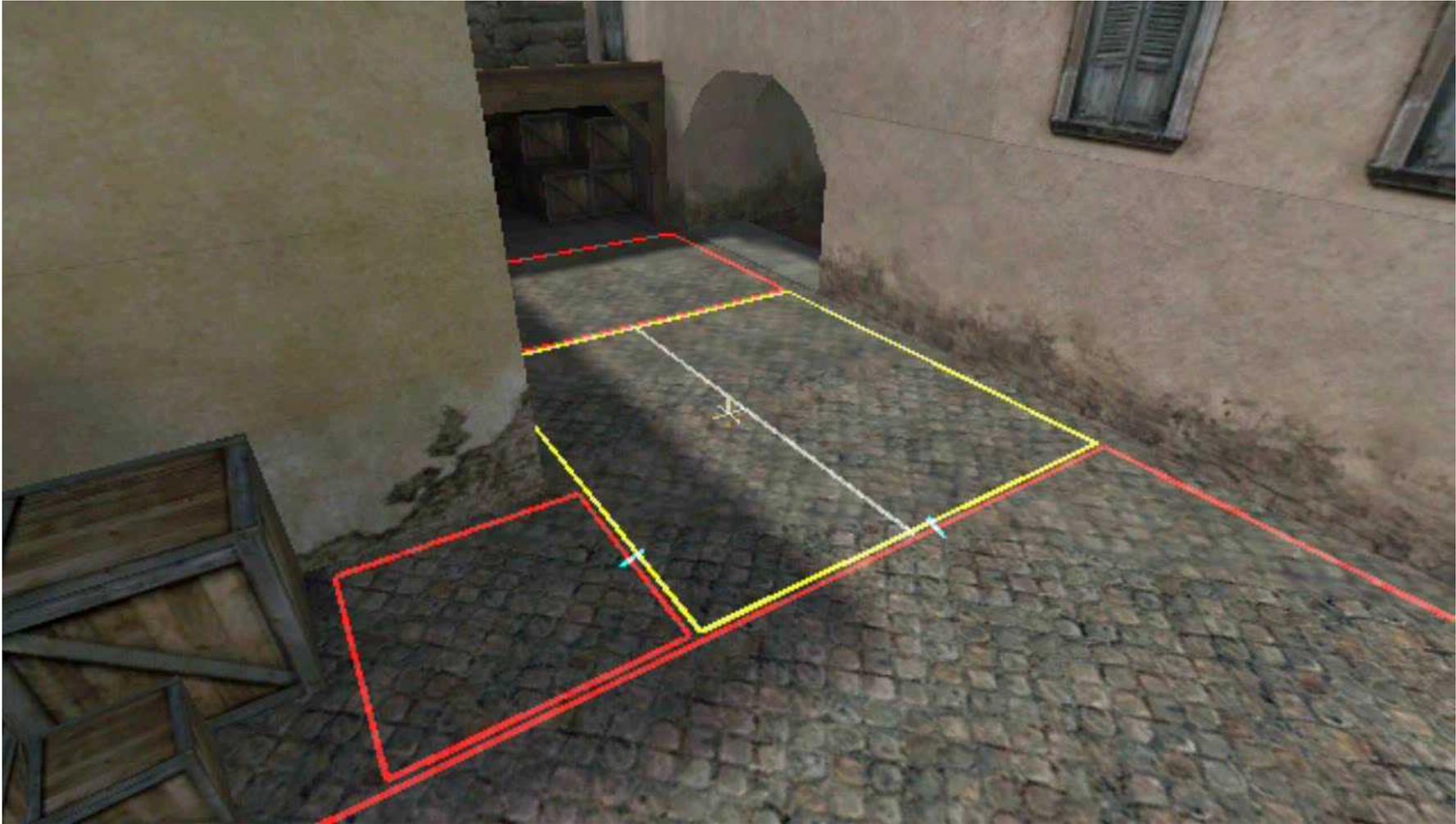
# Positions



# Positions



# Counter Strike : Navigation Mesh

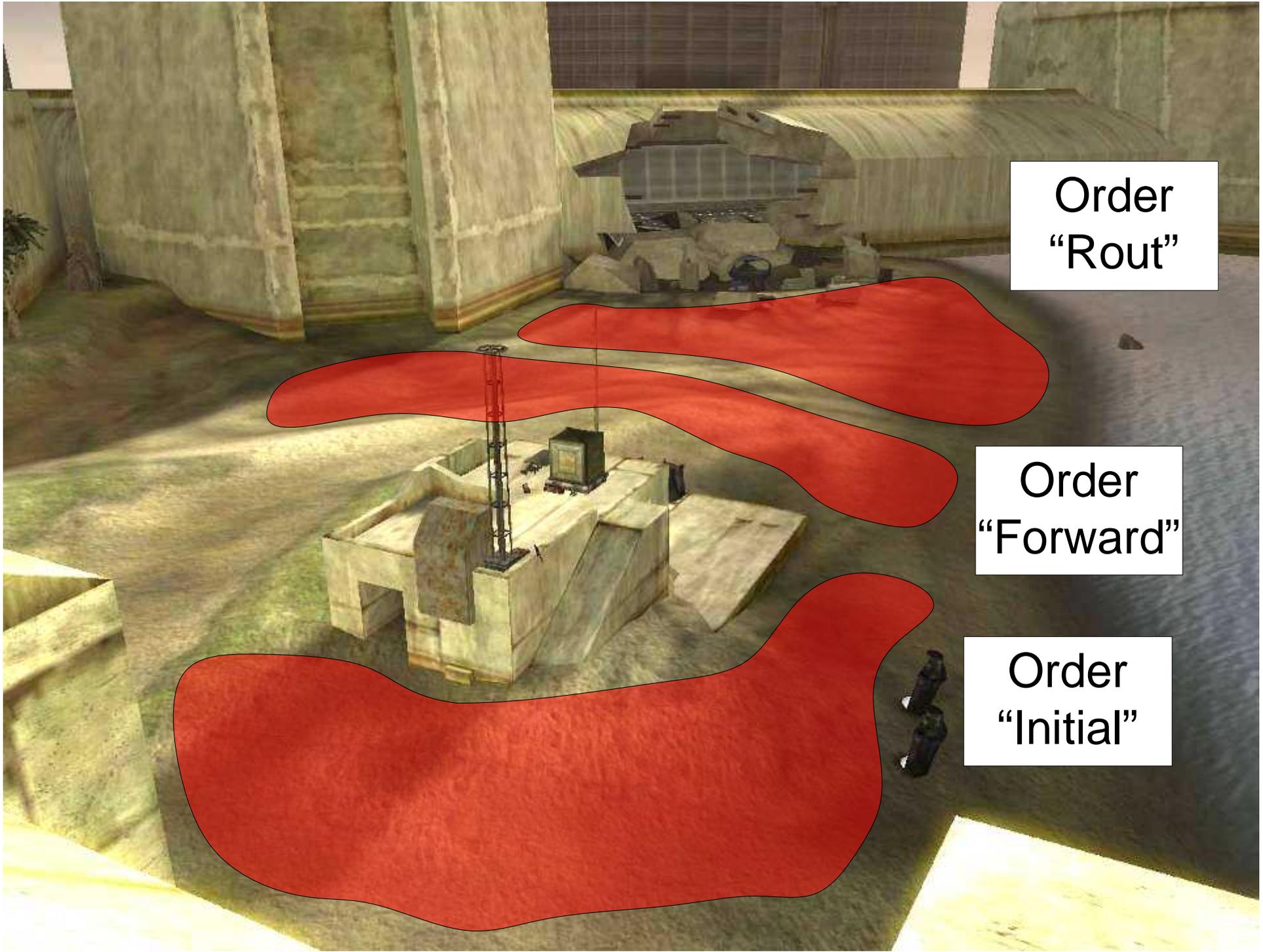


# Counter Strike : Navigation Mesh



# Positions





Order  
"Rout"

Order  
"Forward"

Order  
"Initial"

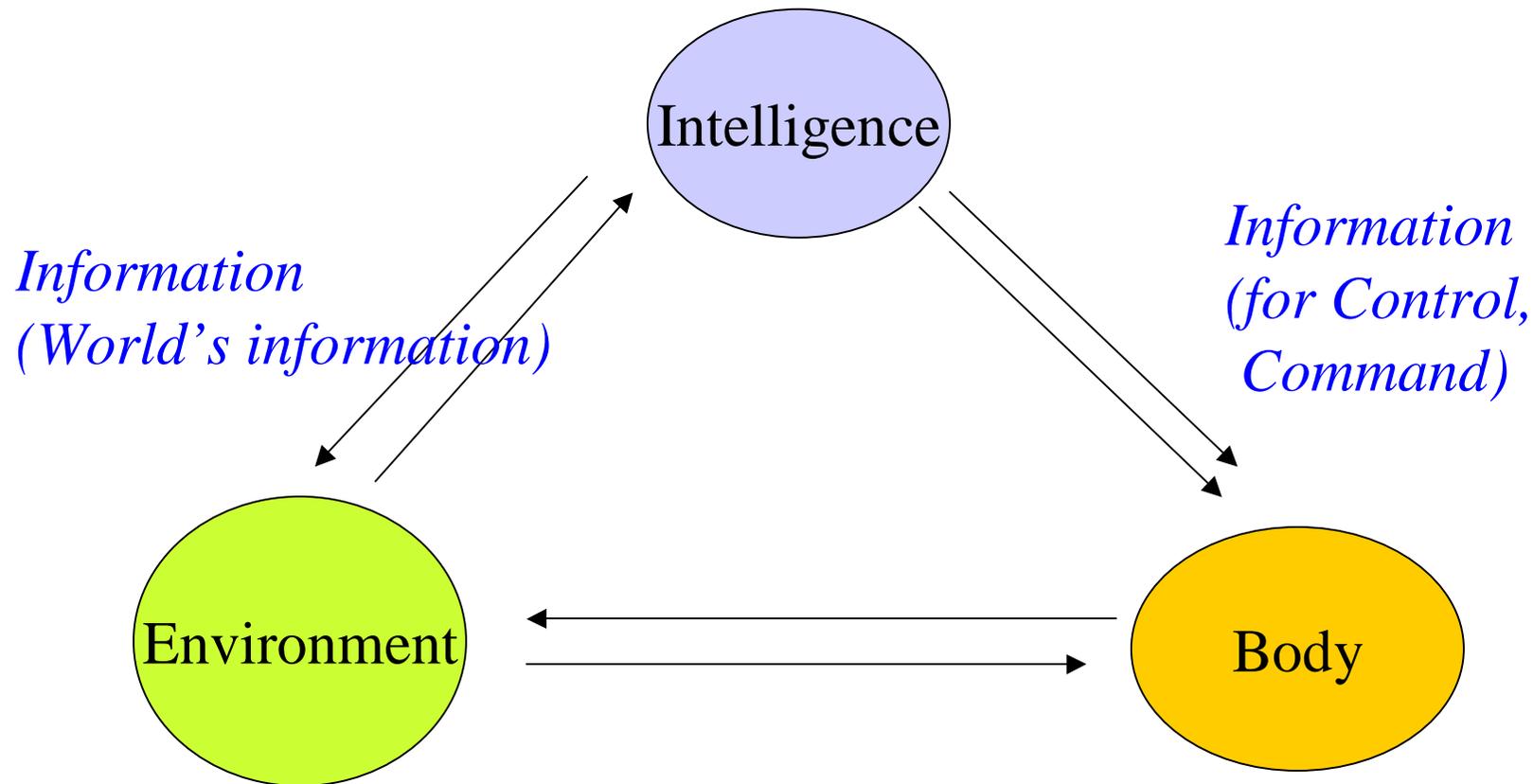


Halo

## *Chapter 2.*

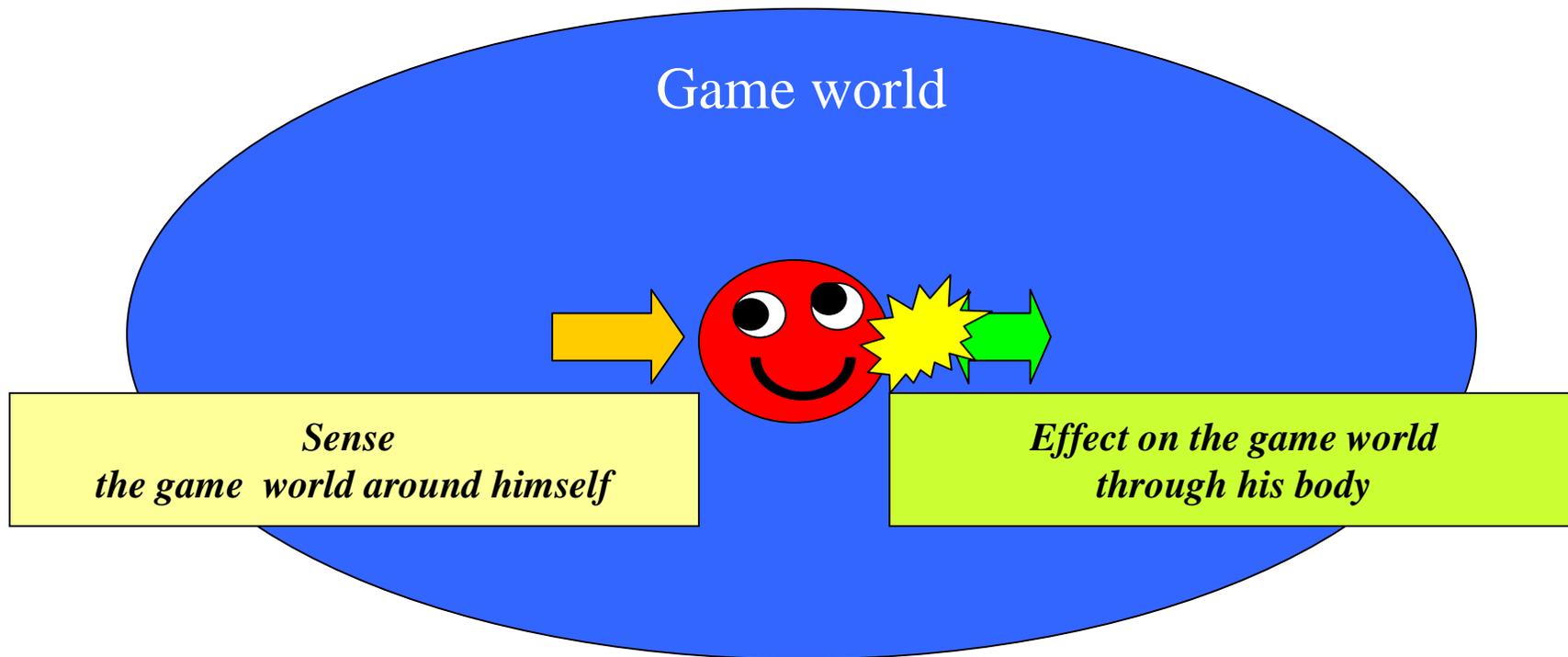
# *The History of Digital Game AI*

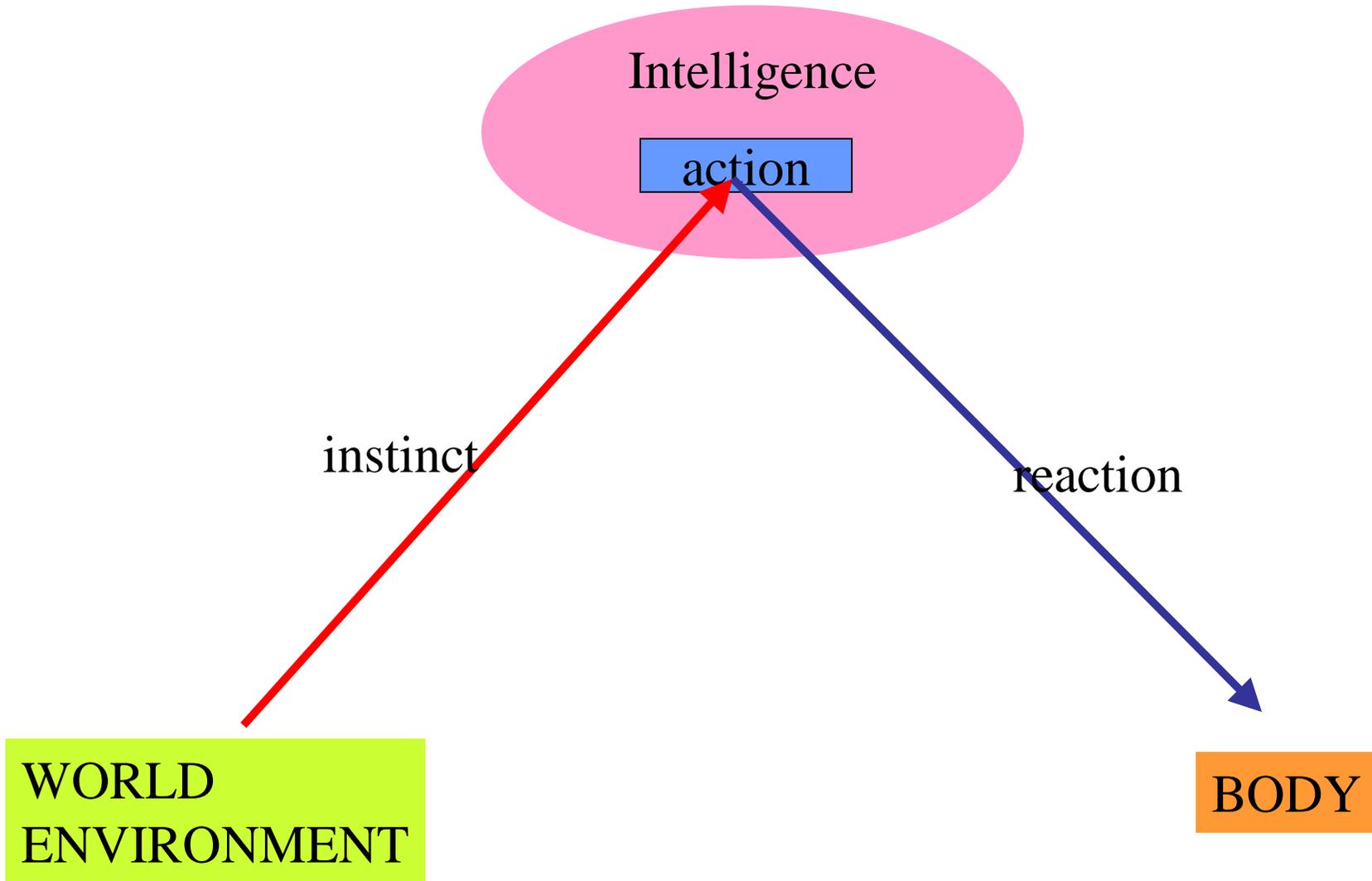
# 「Environment - Intelligence - Body」 correlation diagram

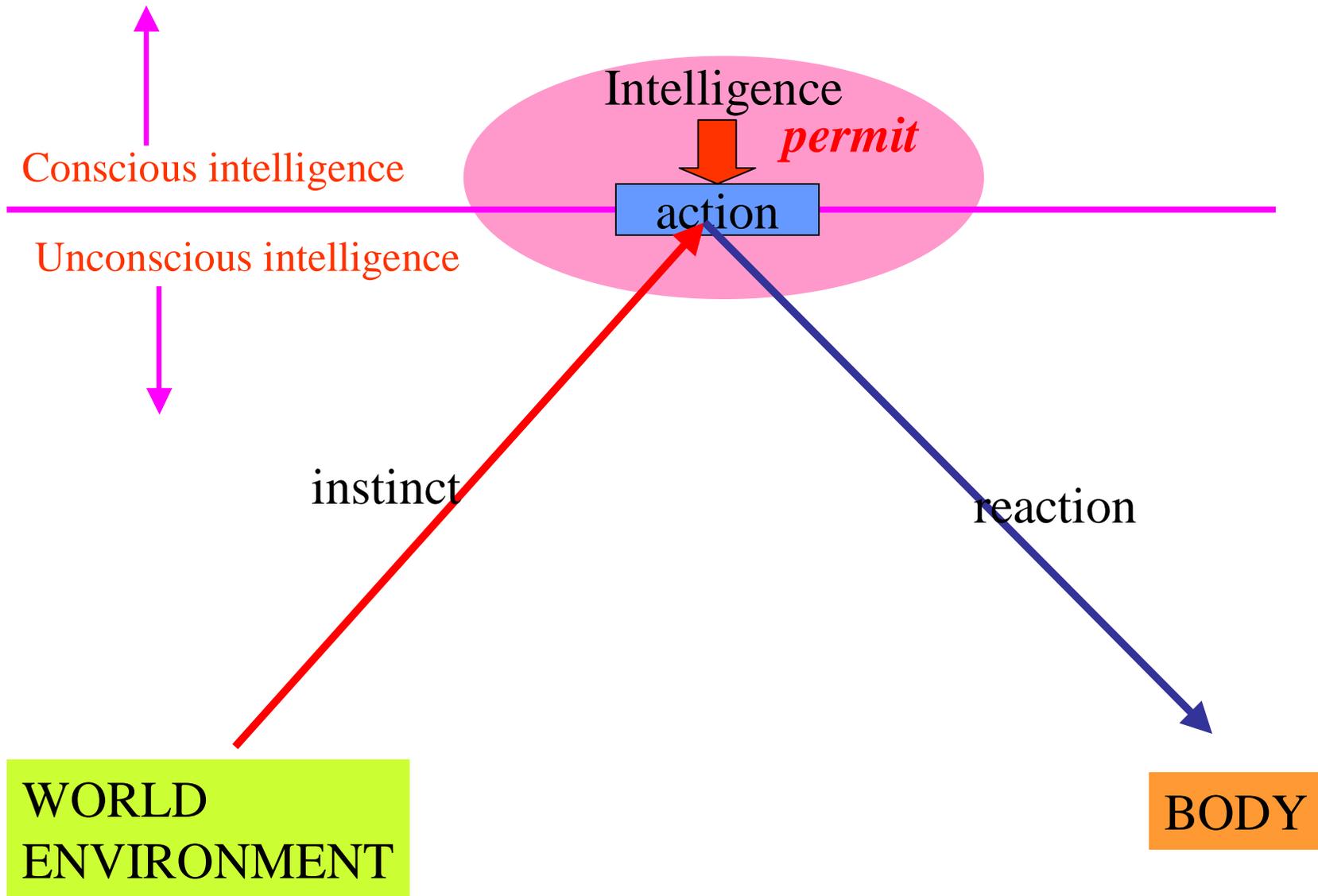


Intelligence cannot be defined by itself. Intelligence should be defined on the correlation of Intelligence, Body, and Environment.

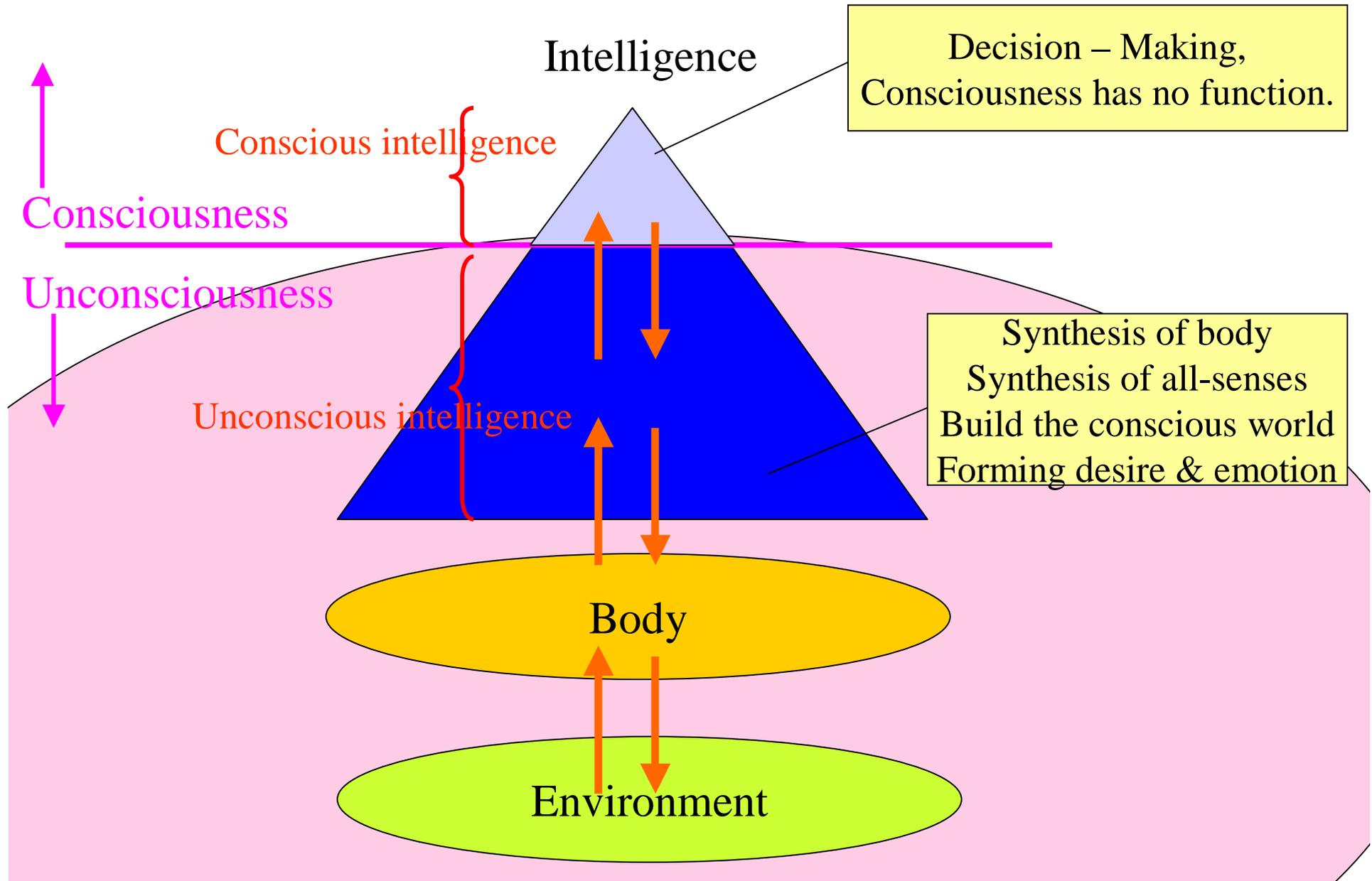
# Agent of game



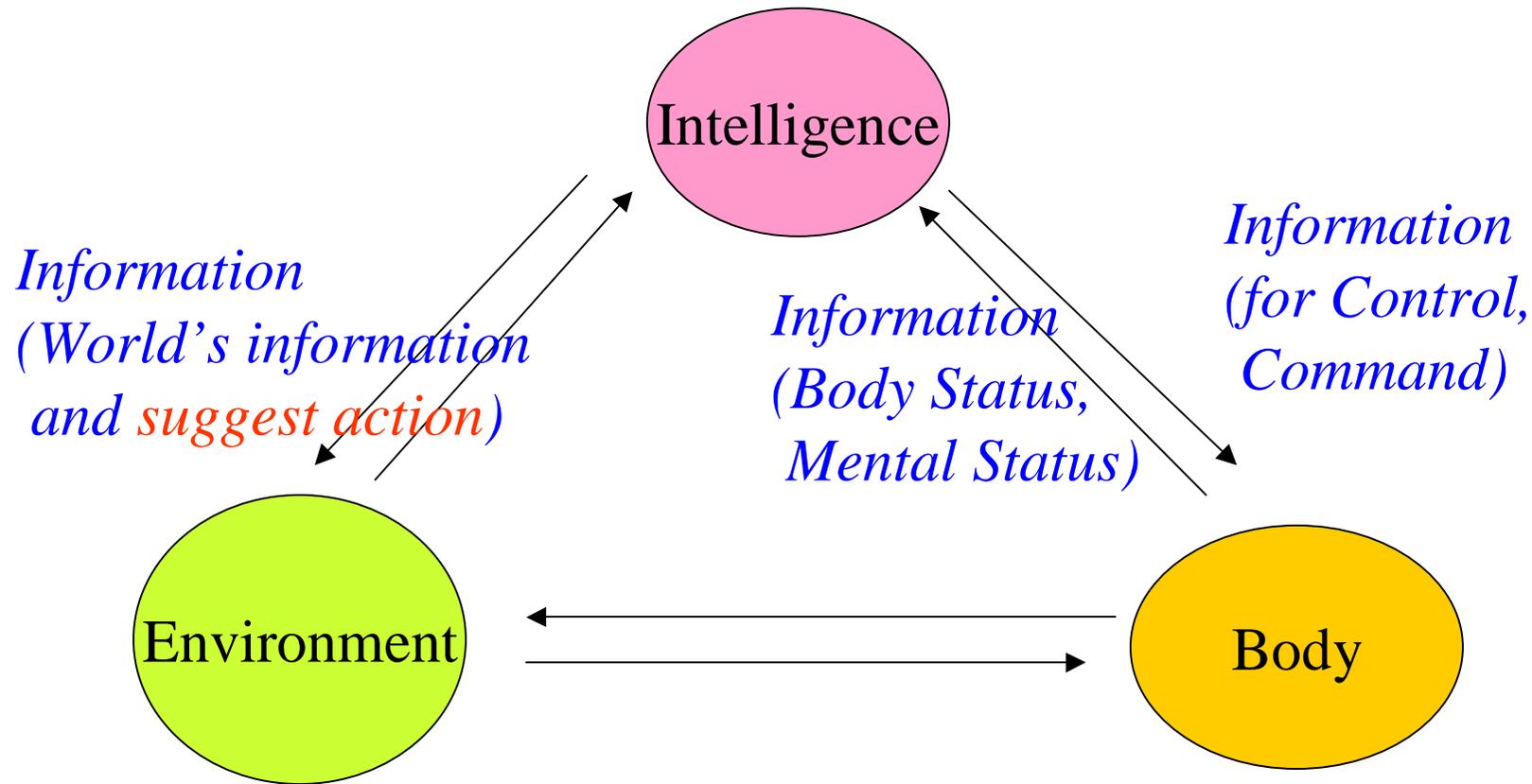




# Consciousness/Unconsciousness

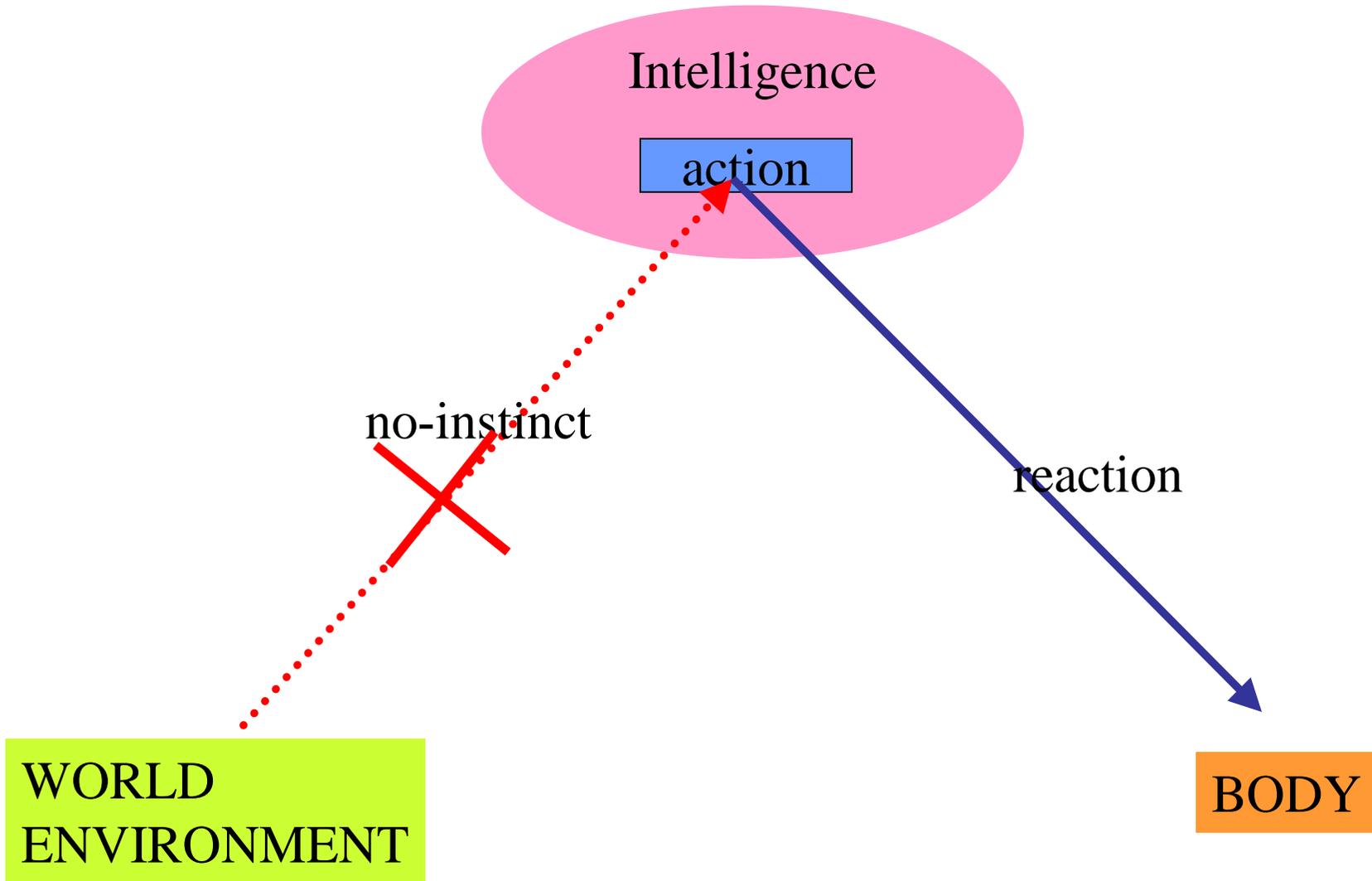


# 「Environment - Intelligence - Body」 correlation diagram



Intelligence cannot be defined by itself. Intelligence should be defined on the correlation of Intelligence, Body, and Environment.

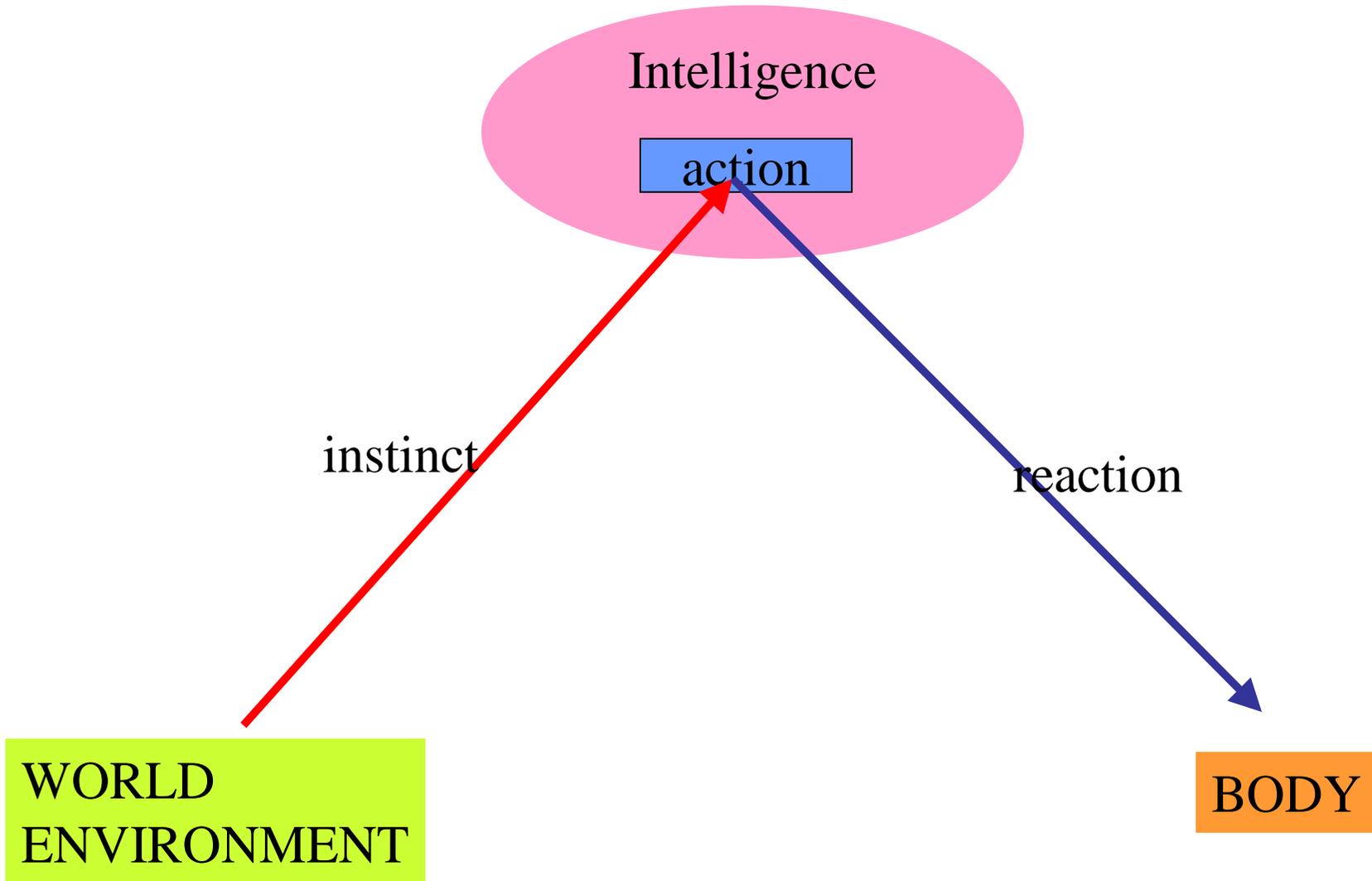
1<sup>st</sup> period Pattern AI



# (Example) Space Invader (1978)

One movement pattern regardless of player's movement

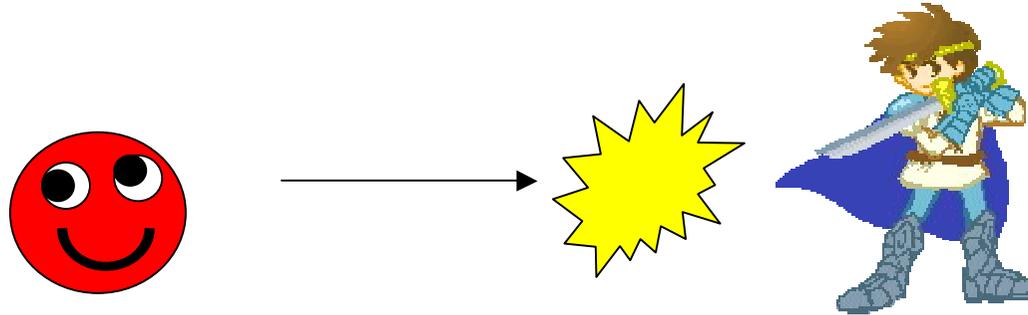
Space Invader



1<sup>st</sup> period

# Complex Pattern AI

*Interactive*



---

AI has some designed actions, and  
take one of them to a game situation.

For example, in “Prince of Persia ”,  
some sprite-animations are prepared, and the number of  
AI aciton pattern corresponds to its animation patterns.

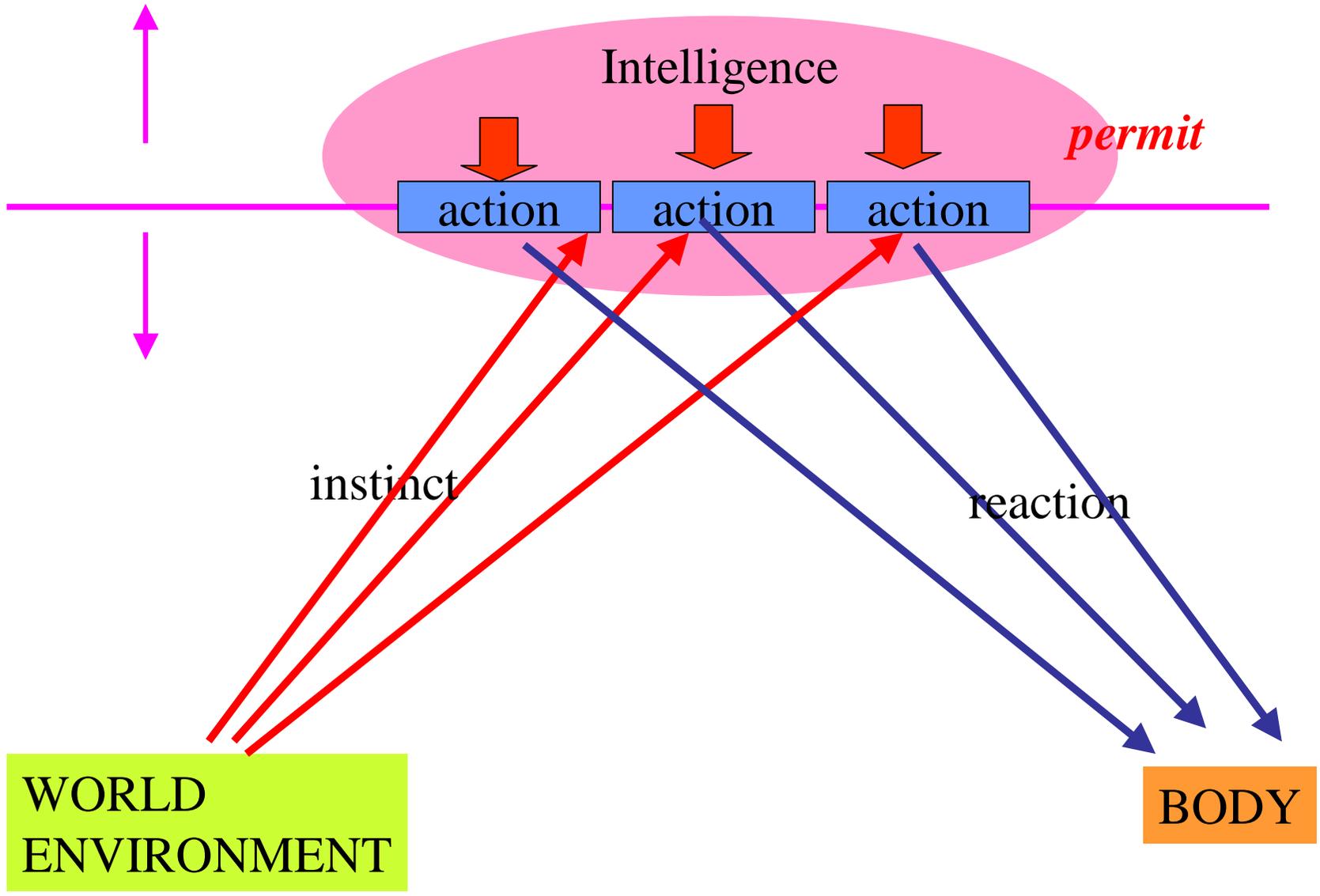
# (Example) Prince of Persia

In “Prince of Persia”,  
Sprite-animation = AI’s action.

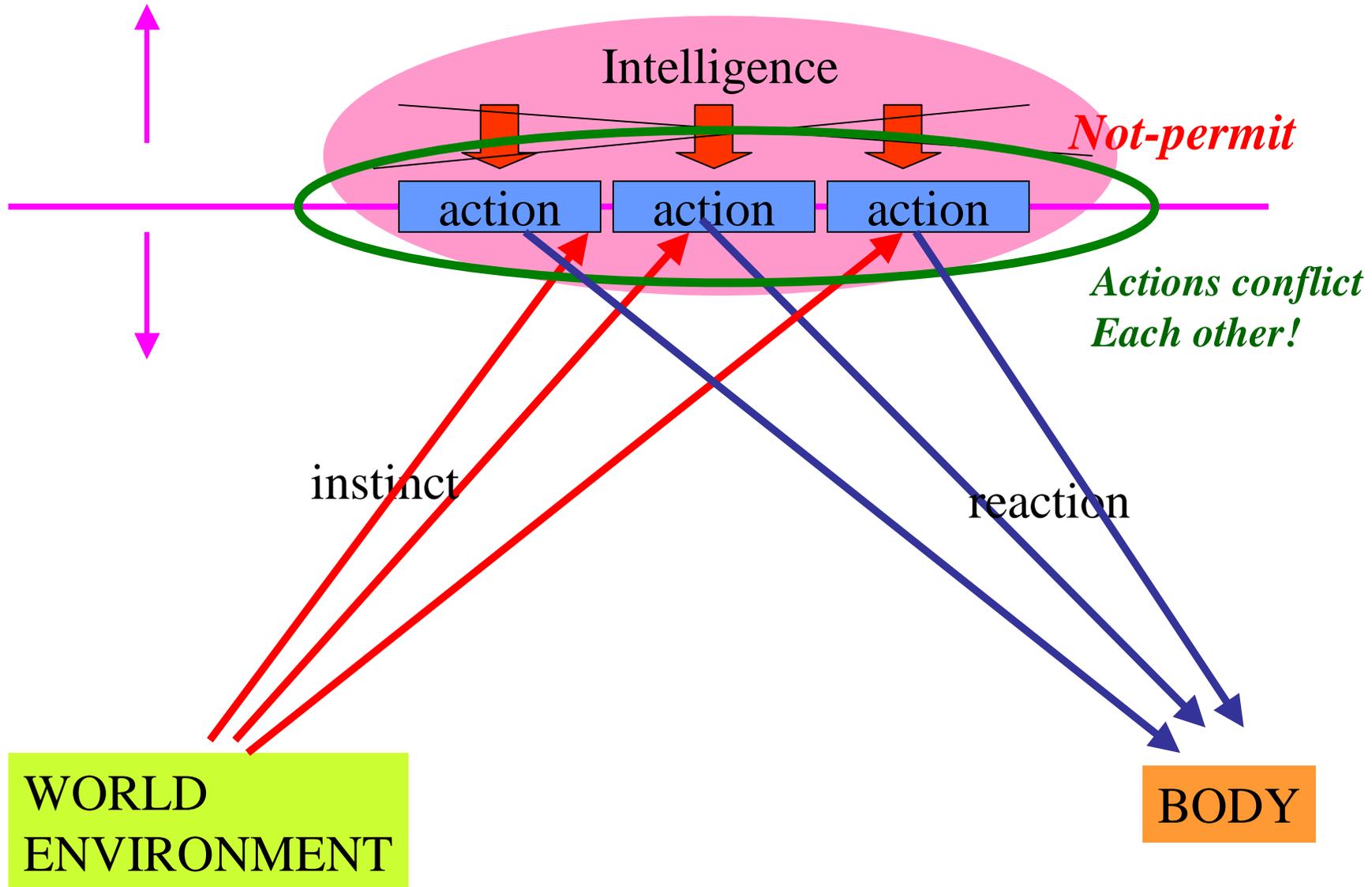
**Prince of Persia**

1<sup>st</sup> period Pattern AI

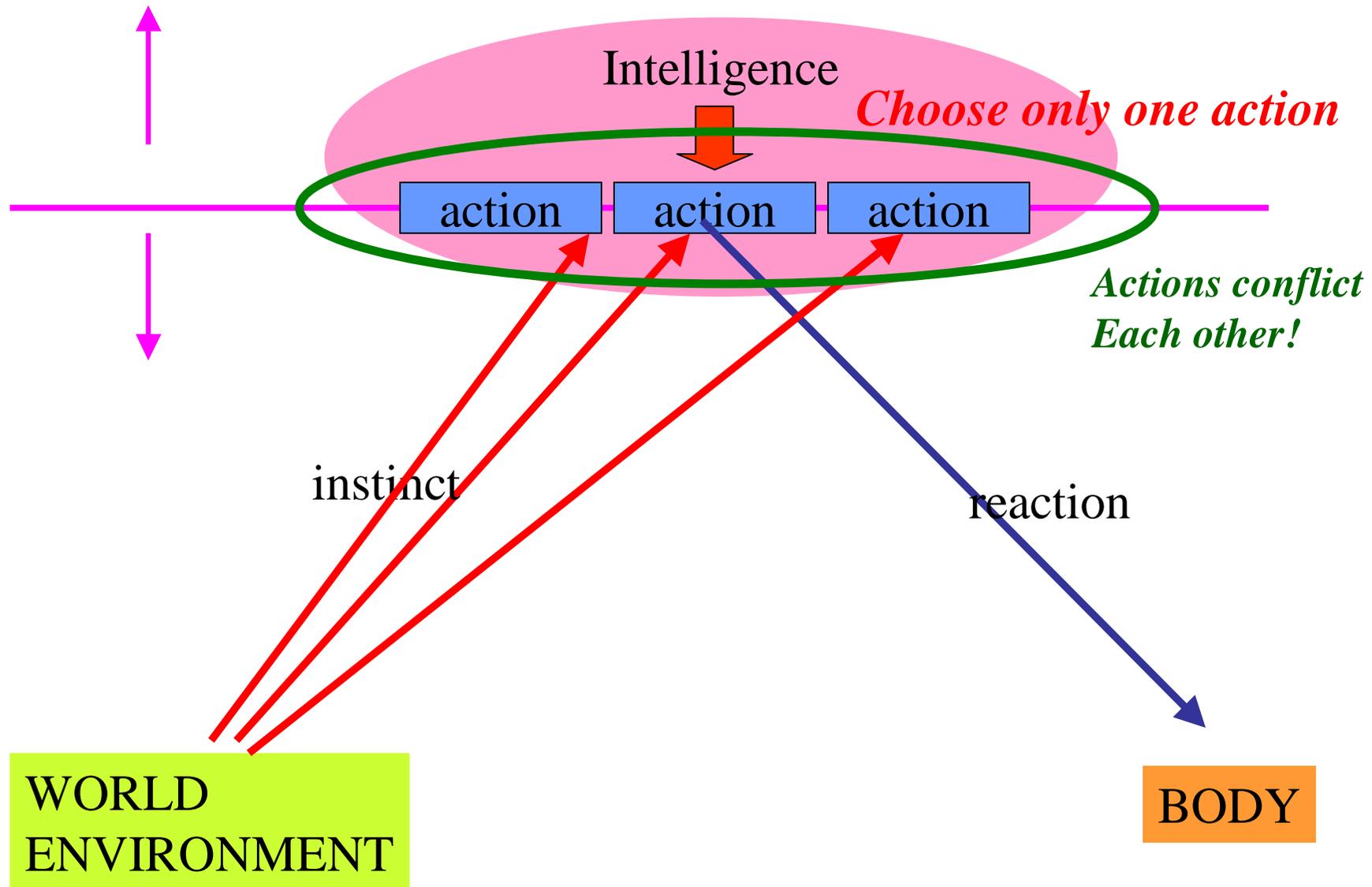
2<sup>nd</sup> period Structured AI



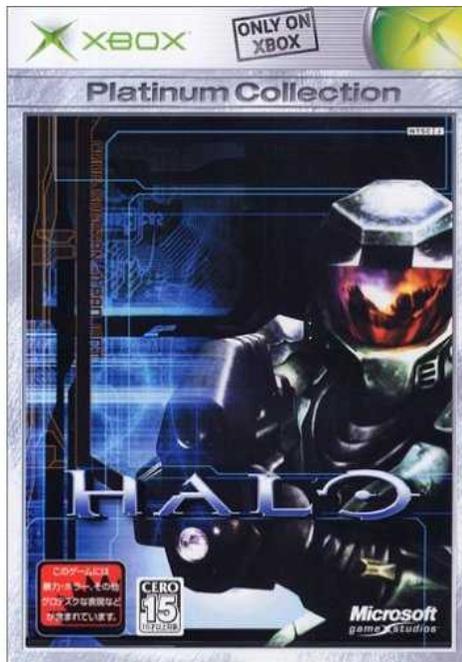
# How to solve the conflict of actions = intelligence



# Think about selection of action



# Halo



- ◆ Game : SF/FPS
- ◆ Developer : BUNGIE Studio
- ◆ Publisher: Microsoft
- ◆ Hardware: Xbox, Windows, Mac
- ◆ Publishing year : 2002

Halo

# Halo NPC

Situation  
analysis

Express AI's intention



Grant

Quick &  
Pretty



Jackal

Steady



Elite

Big

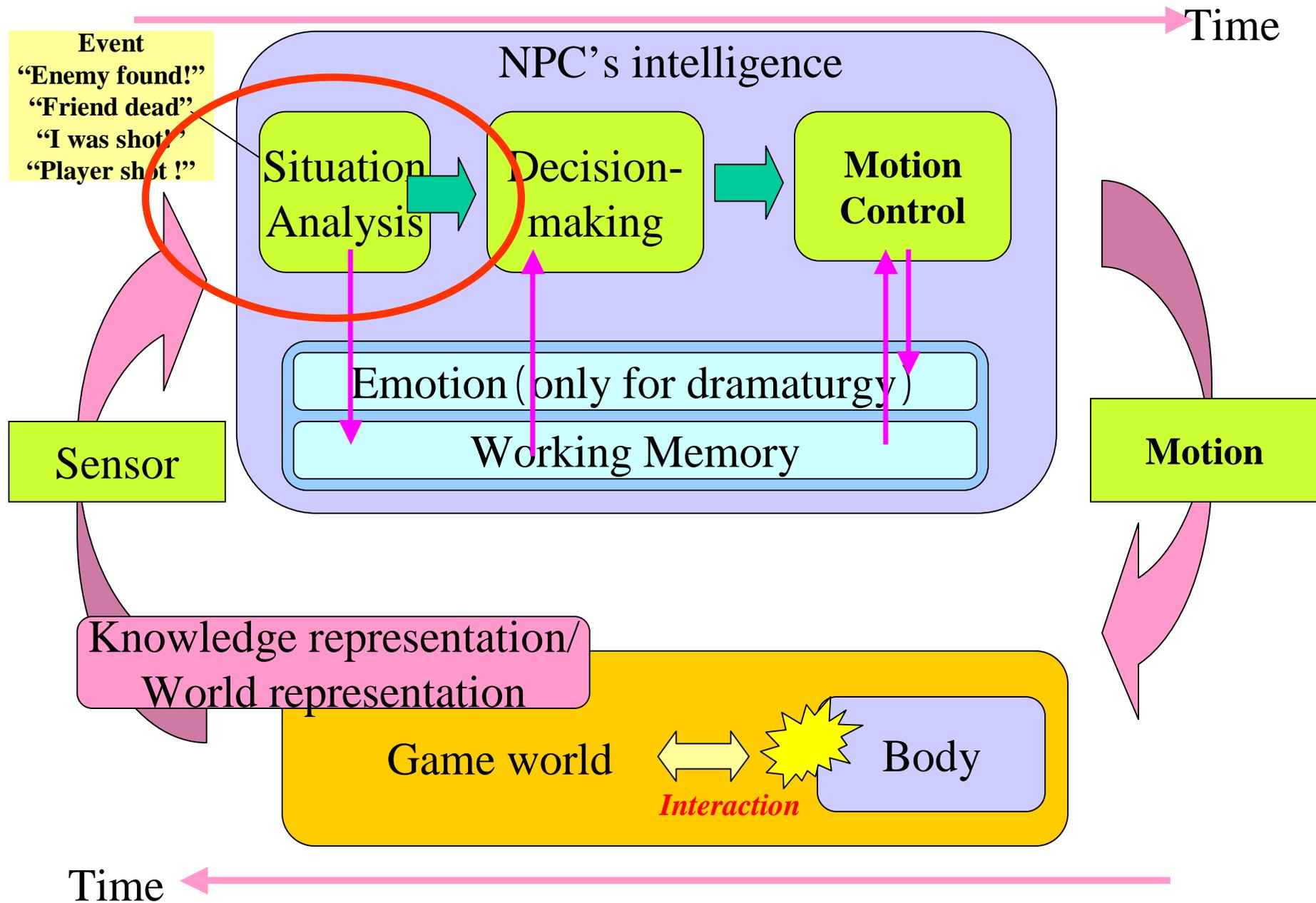


Human

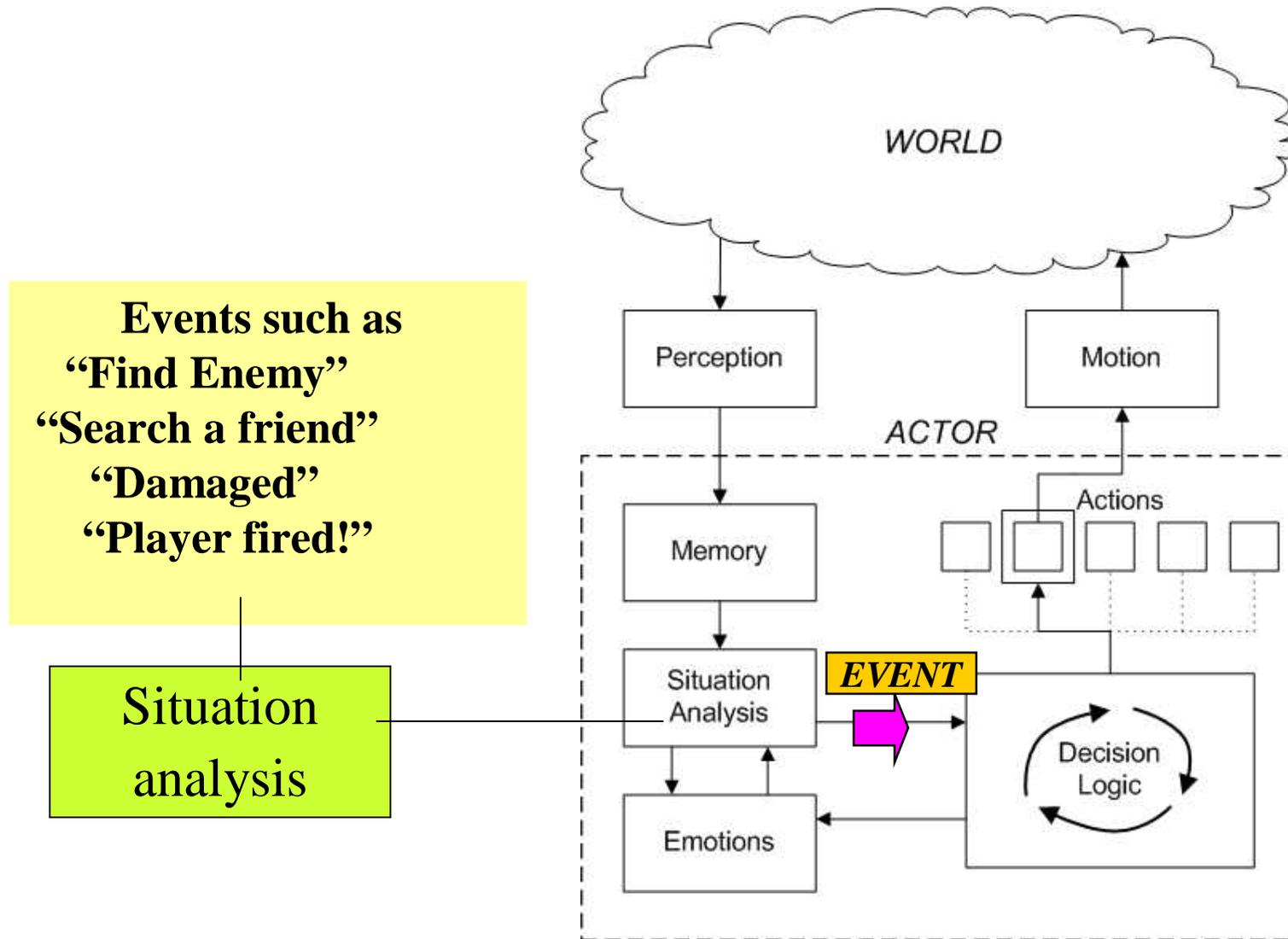
Enemy (COGNANT)

Friend

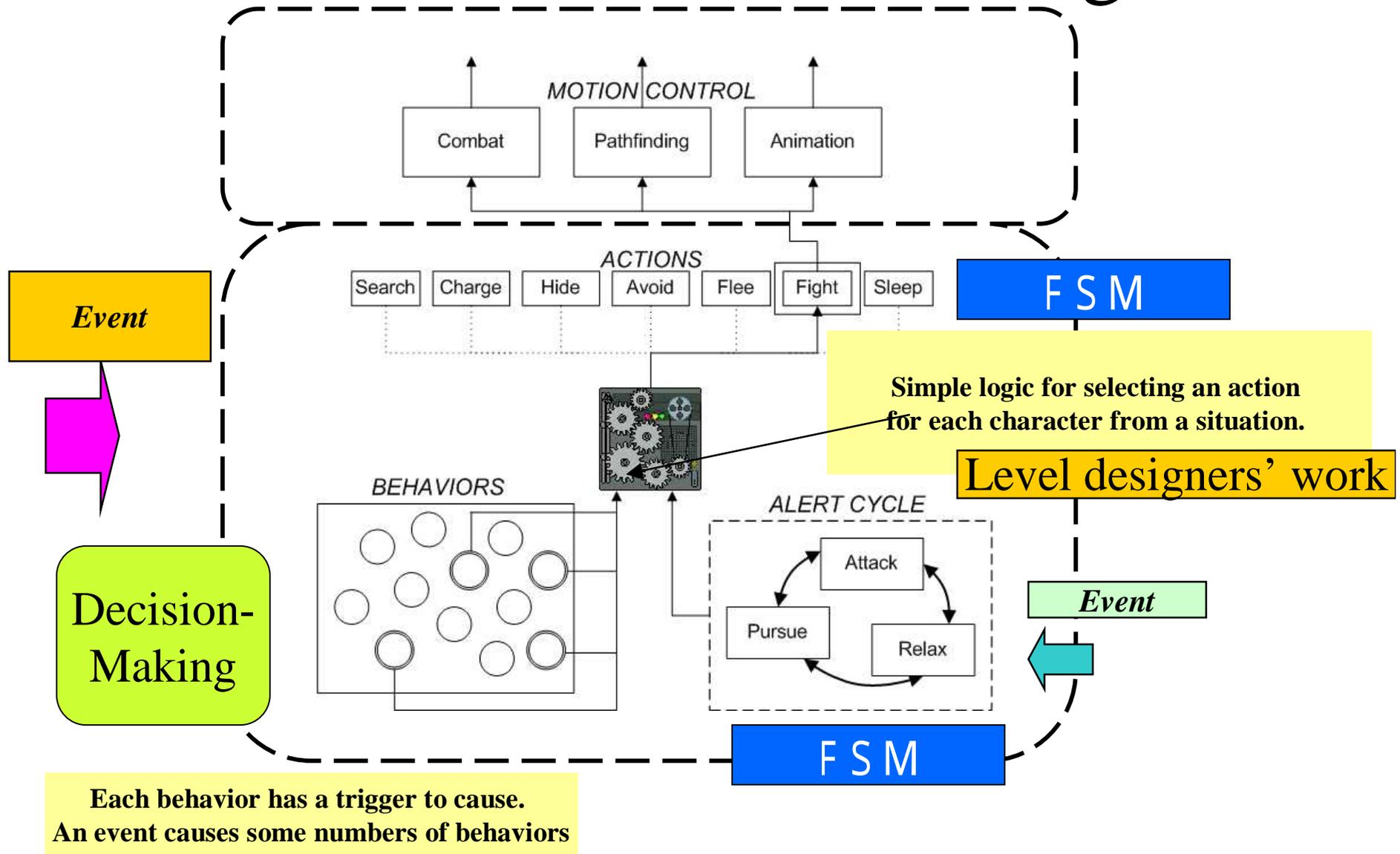
# Halo NPC Architecture



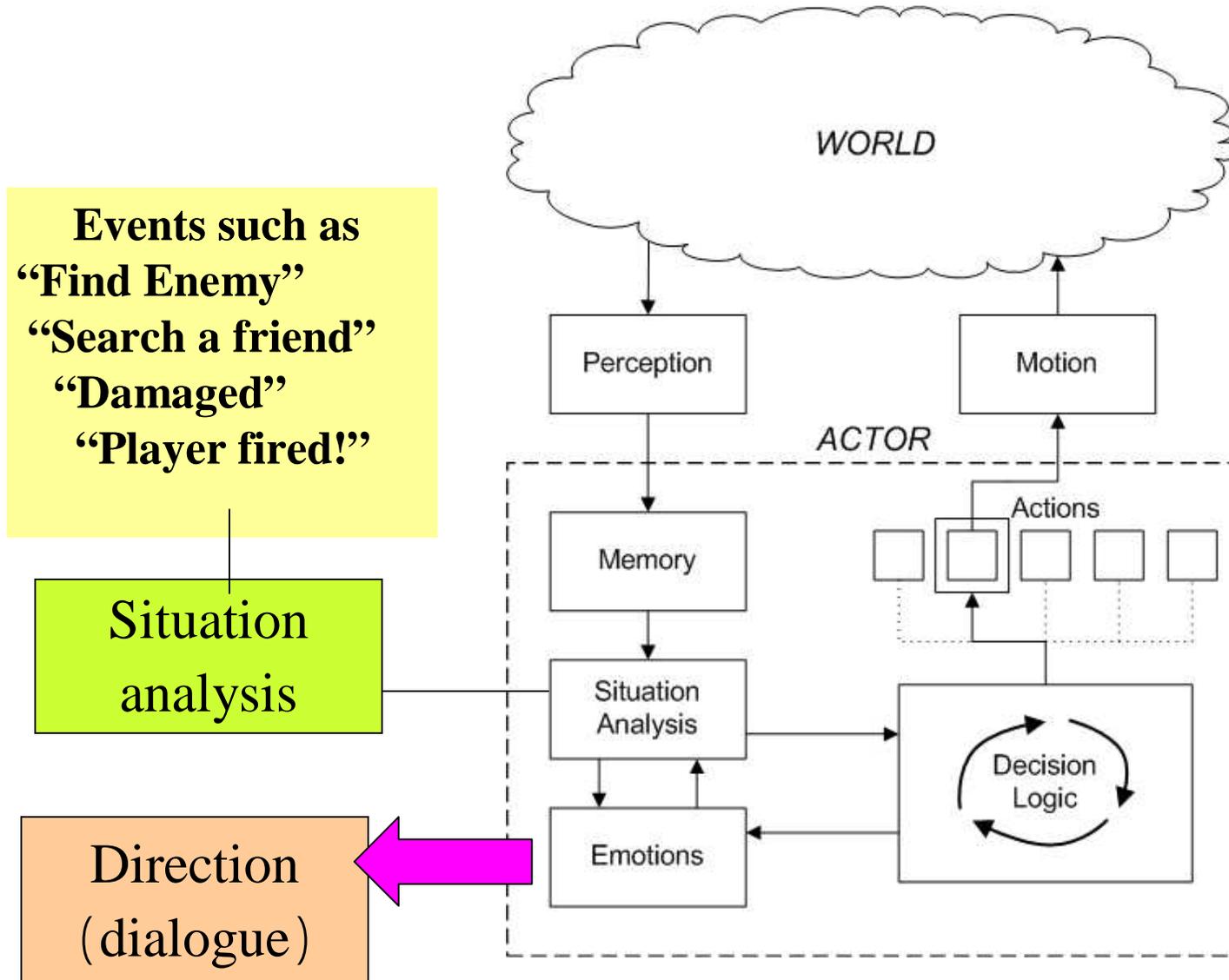
# Halo AI Architecture



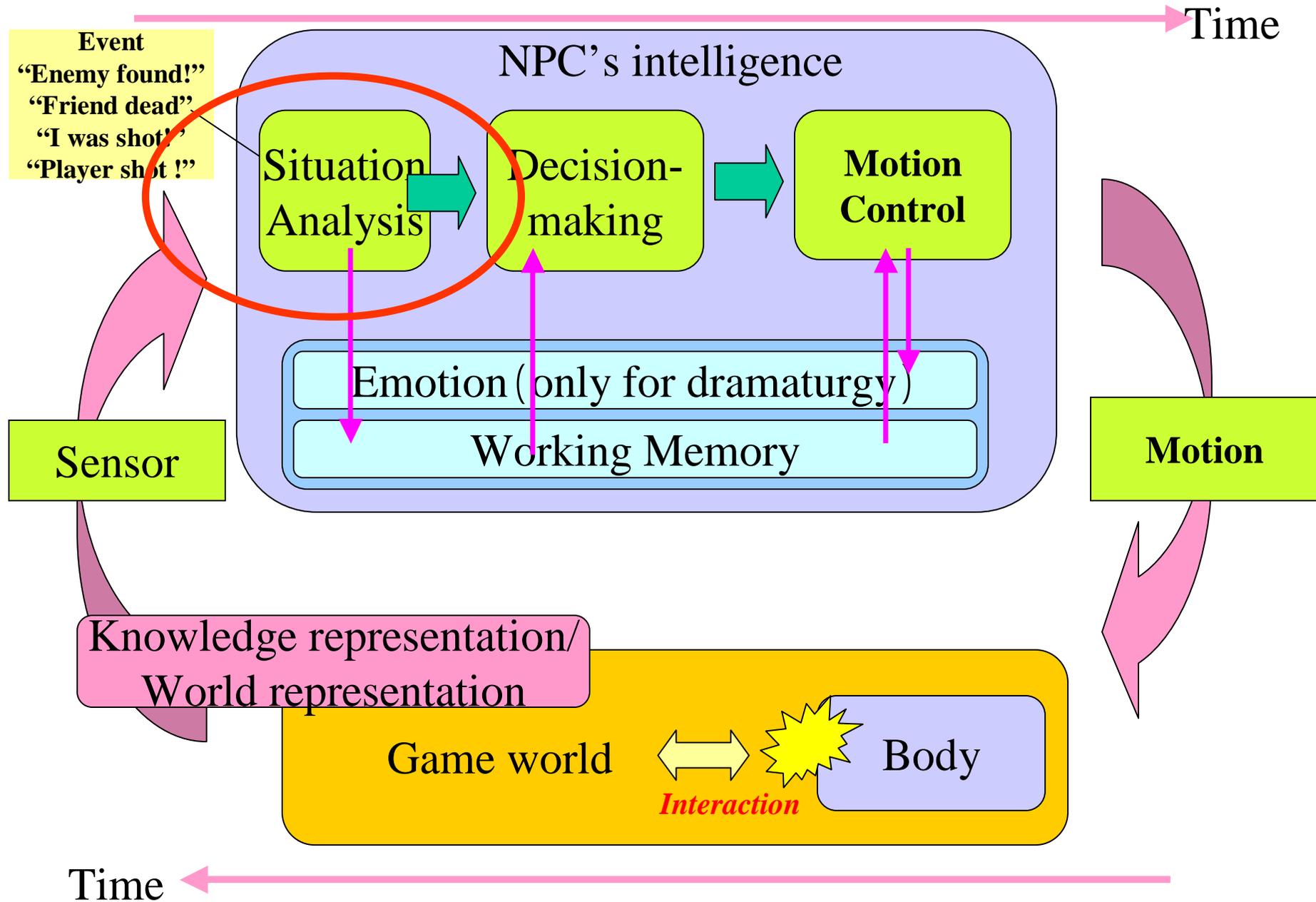
# Halo AI decision-making



# Halo AI Architecture



# Halo NPC Architecture

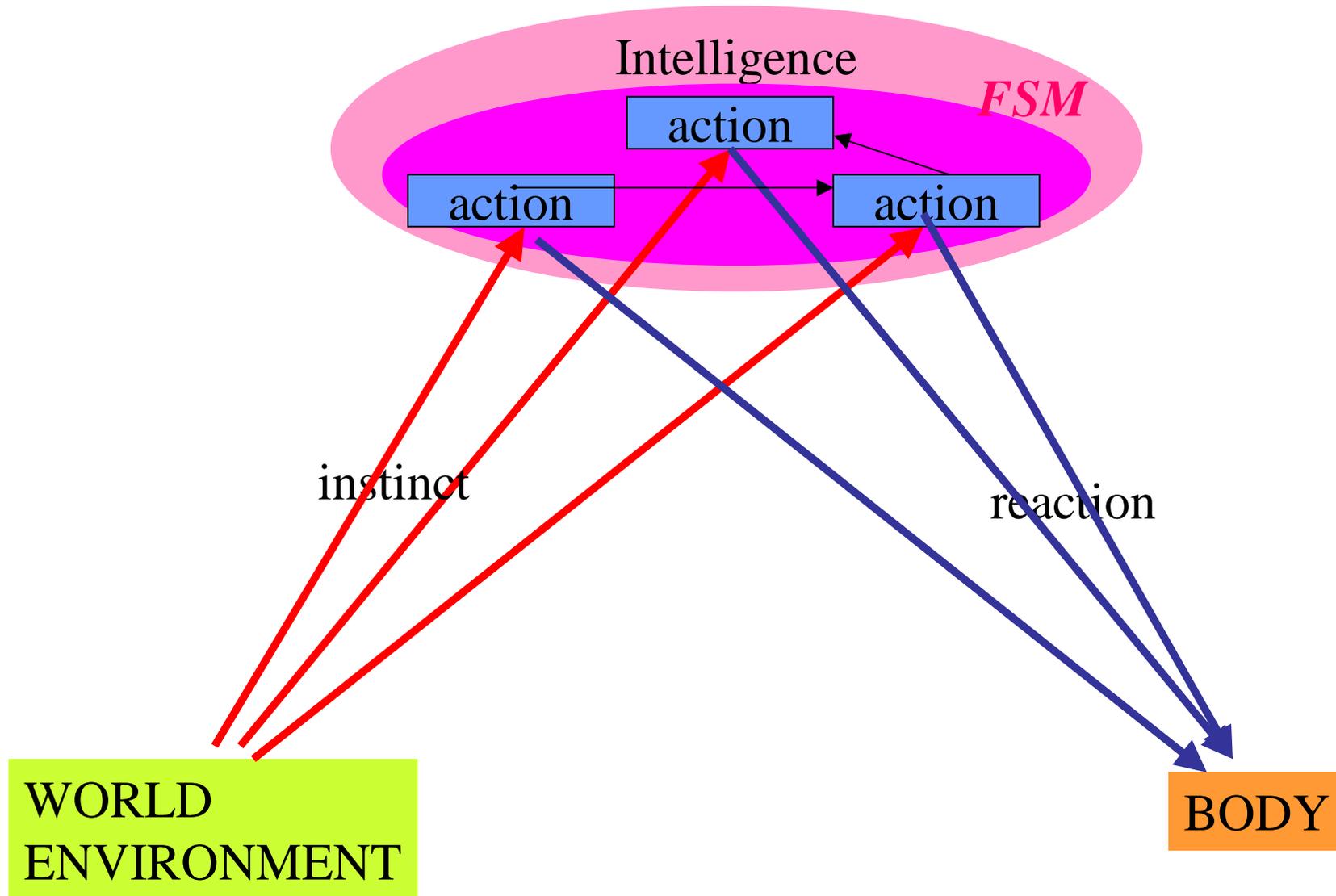




## Reference for Halo & Halo2

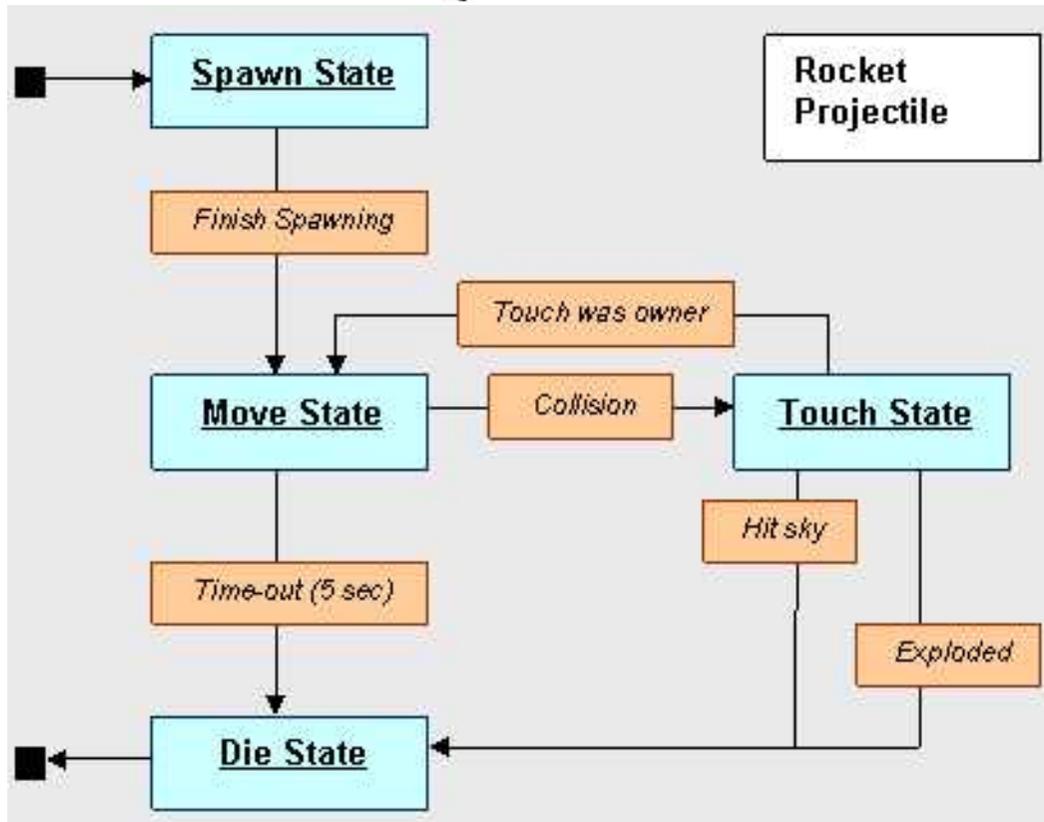
- Damian Isla (2005), “Dude, where’s my Warthog? From Pathfinding to General Spatial Competence”,  
<http://www.aiide.org/aiide2005/talks/isla.ppt>  
[http://nikon.bungie.org/misc/aiide\\_2005\\_pathfinding/index.html](http://nikon.bungie.org/misc/aiide_2005_pathfinding/index.html)
- Damian Isla (2005), Handling Complexity in the Halo 2 AI, Game Developer's Conference Proceedings.,  
[http://www.gamasutra.com/gdc2005/features/20050311/isla\\_01.shtml](http://www.gamasutra.com/gdc2005/features/20050311/isla_01.shtml)
- Jaime Griesemer(2002),The Illusion of Intelligence: The Integration of AI and Level Design in Halo,  
<http://halo.bungie.org/misc/gdc.2002.haloai/talk.html>
- Robert Valdes(2004), “In the Mind of the Enemy The Artificial Intelligence of Halo2”,  
<http://www.stuffo.com/halo2-ai.htm> (現在はclosed)

# Think = FSM(Finite State Machine)



# (Example) Quake HFSM

## Quake HFSM

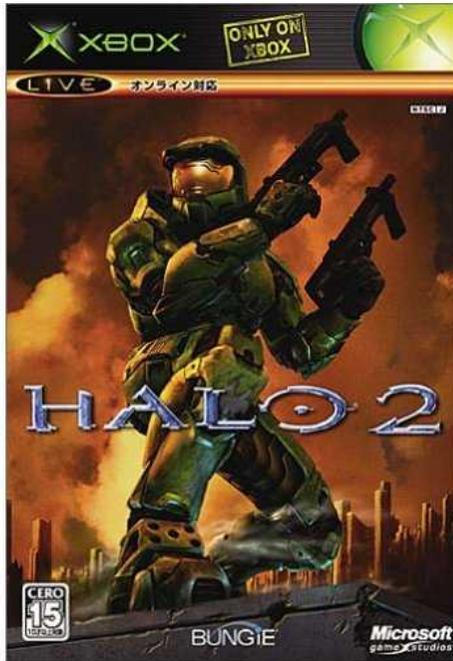


<http://ai-depot.com/FiniteStateMachines/FSM-Practical.html>

Finite State Machine

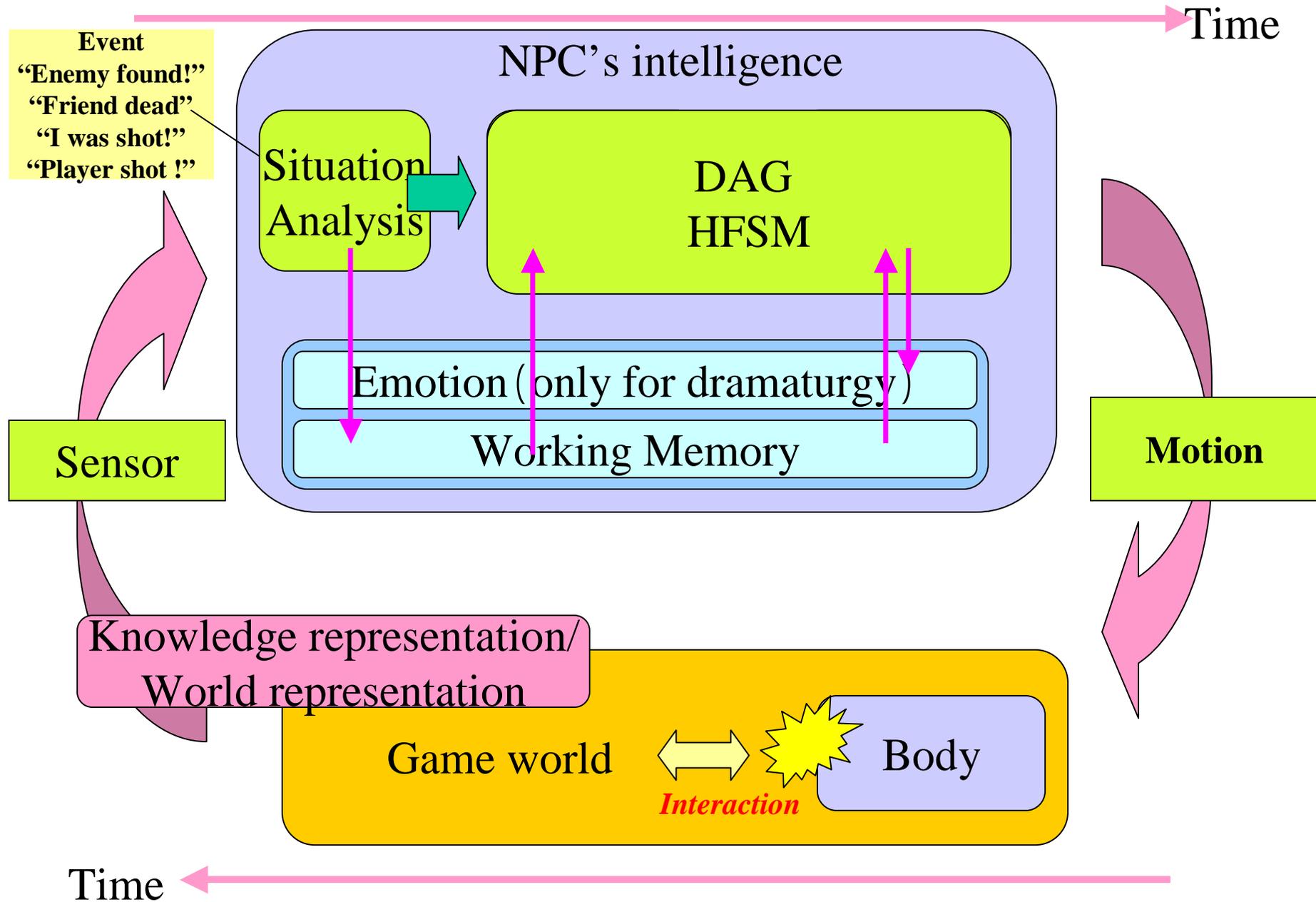
Quake

# Halo2 (2004)



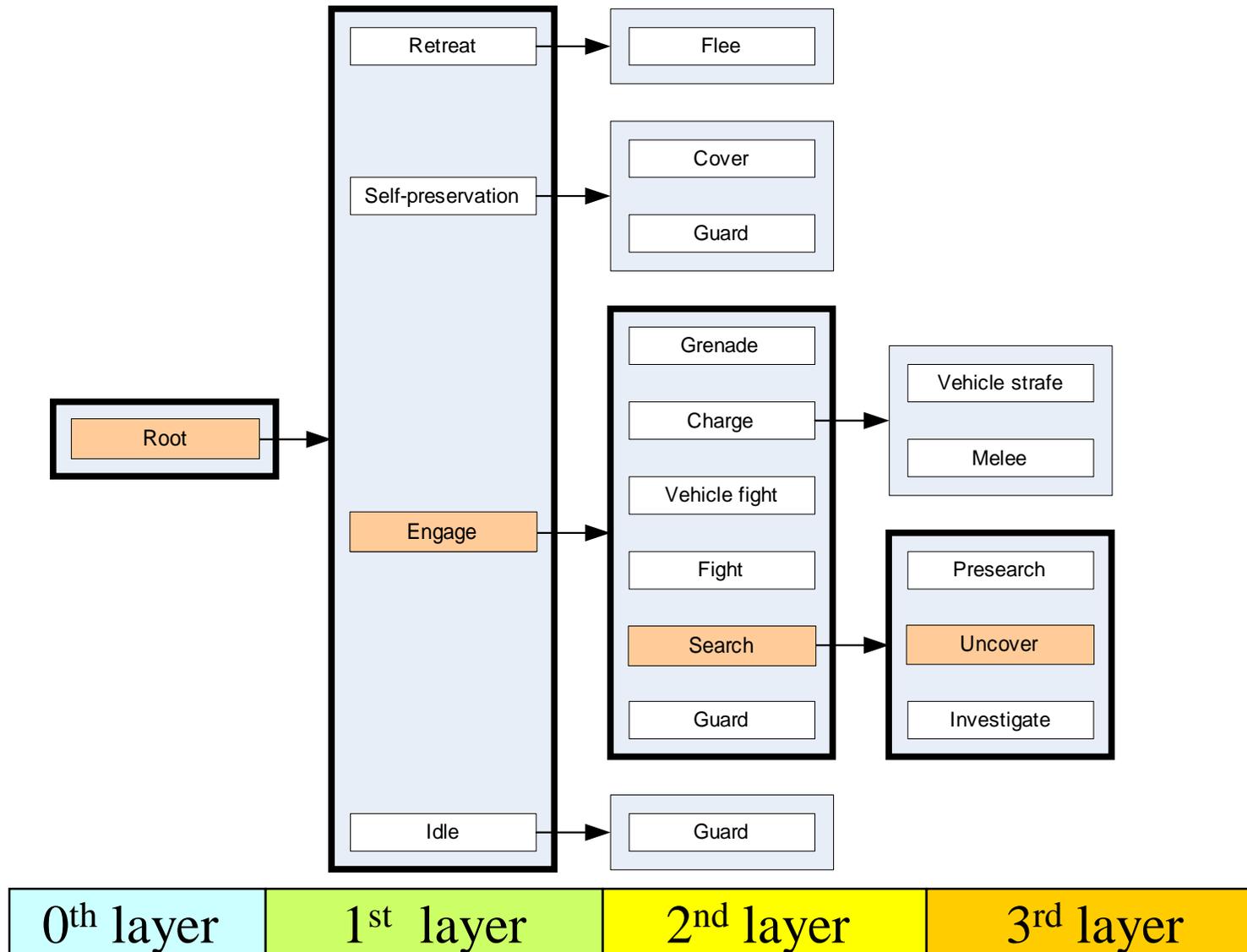
- ◆ Game : SF/FPS
- ◆ Developer : BUNGIE Studio
- ◆ Publisher: Microsoft
- ◆ Hardware: Xbox, Windows, Mac
- ◆ Publishing year : 2004

# Halo2 NPC Architecture

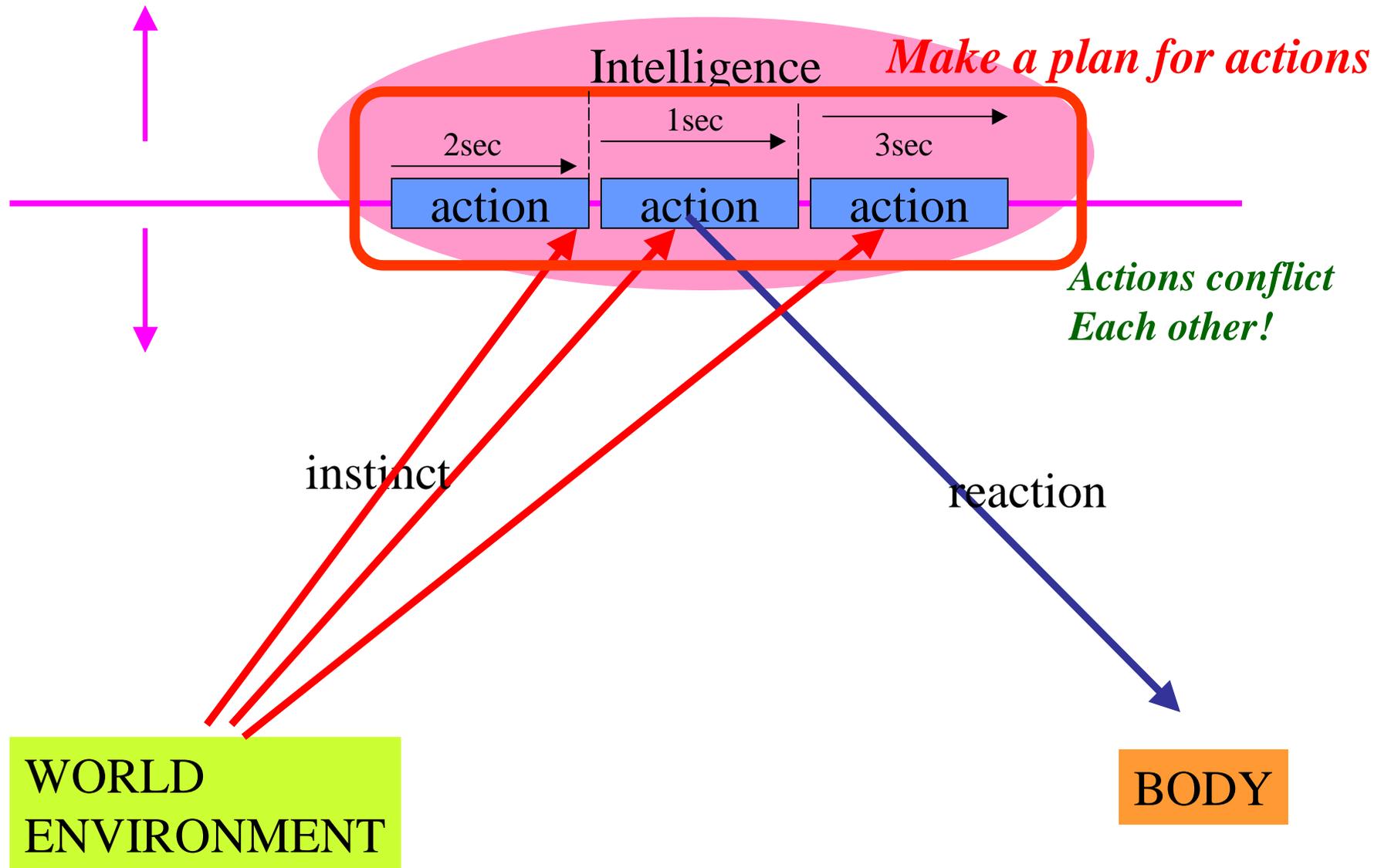


# Decision-making by HFSM (Hierarchical FSM)

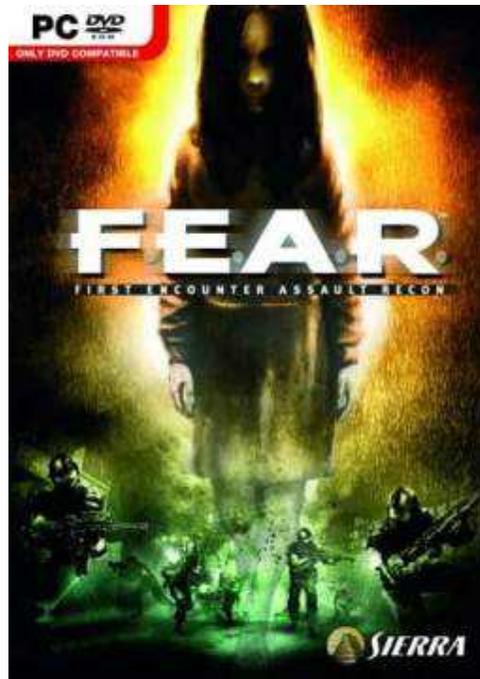
DAG (Directed acyclic graph) = behavior tree



# Think about planning



# F.E.A.R (2004)



Game : Horror FPS

Developer : Monolith Production

Publisher: SIERRA

Hardware: Windows, PS3

Publishing year : 2004

# F.E.A.R NPC

Find what AI should do by itself.

Find the way to achieve the goal by itself.

(C4 Architecture + Goal-Oriented AI)



Rat

Move but not attack



Assassin

Run on ceiling and wall

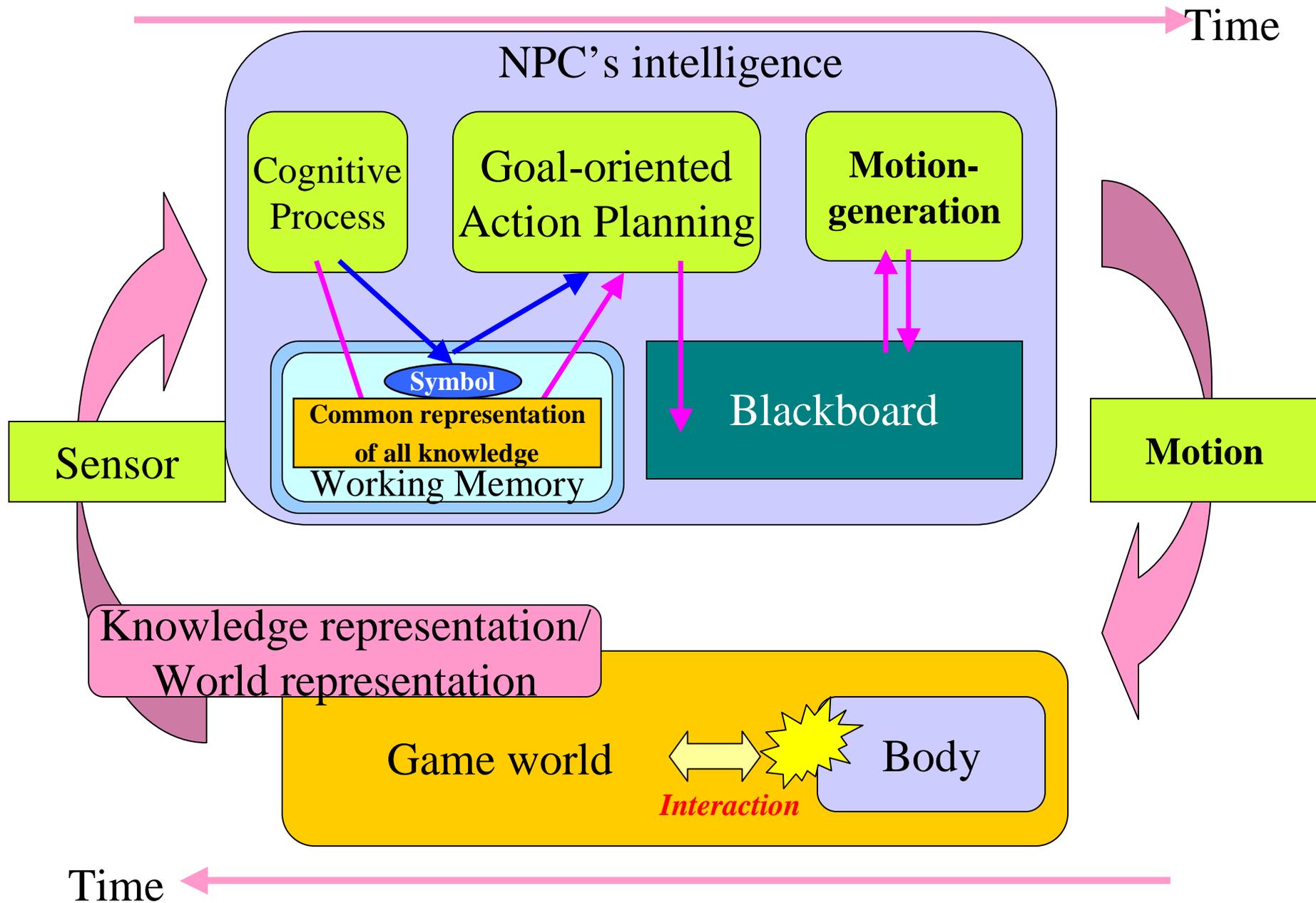


Human

Walk

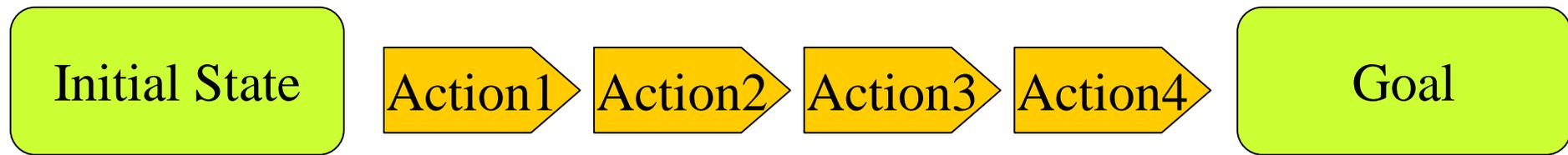
Enemy

# F.E.A.R NPC AI architecture



What is **PLANNING** ?

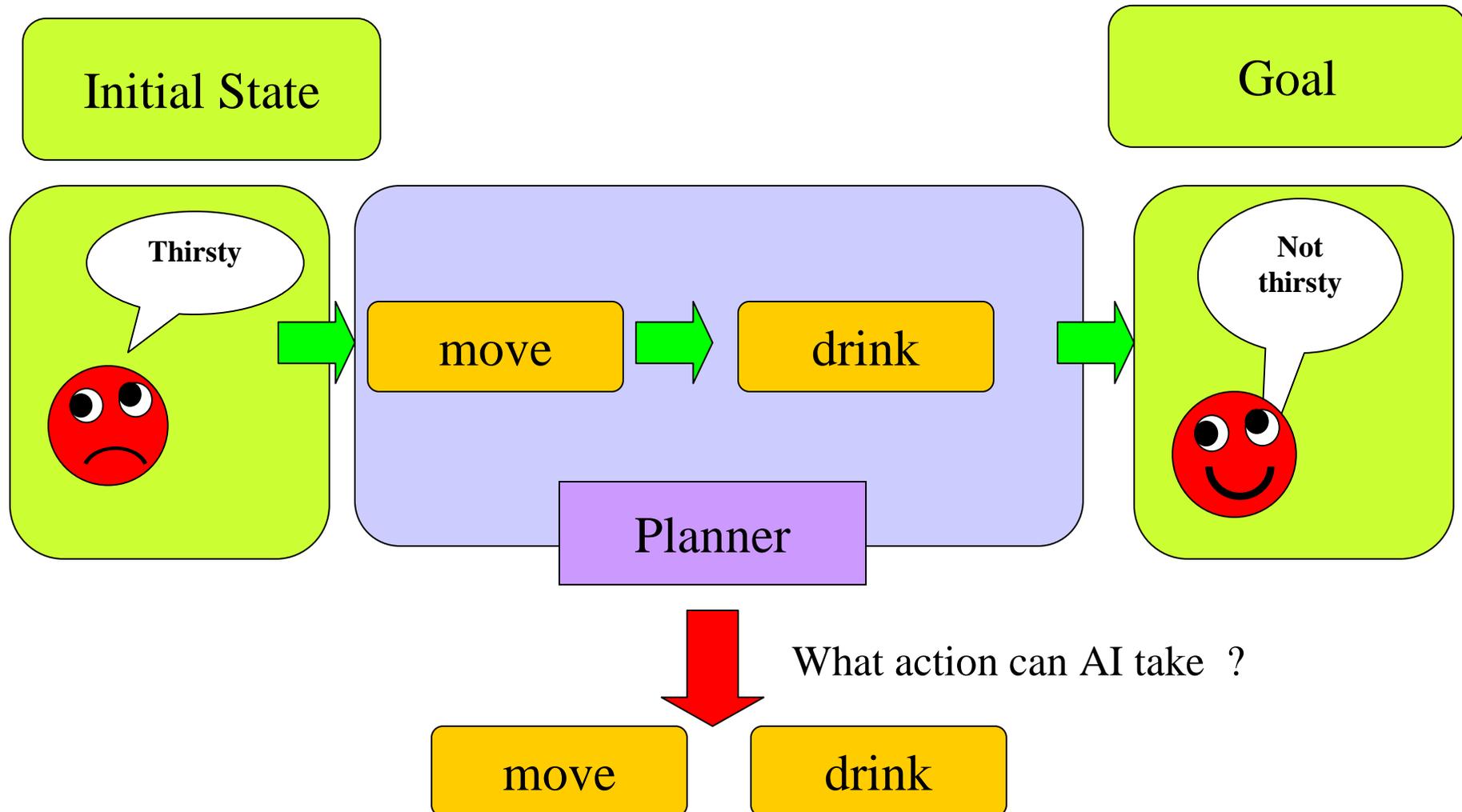
# What is planning ?



Fundamental Concept: **Initial State** **Goal** **Planner**

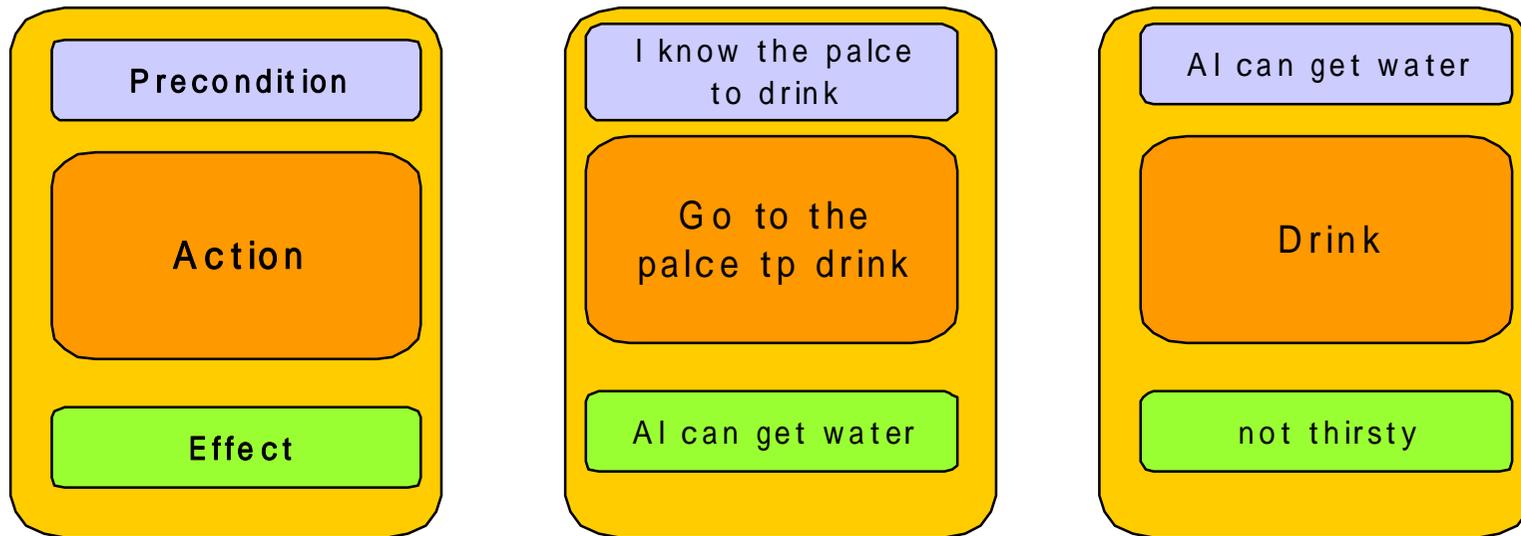
# Example for action planning

Planning of actions = **Action Planning**



## Chaining

# Representation of action for planner

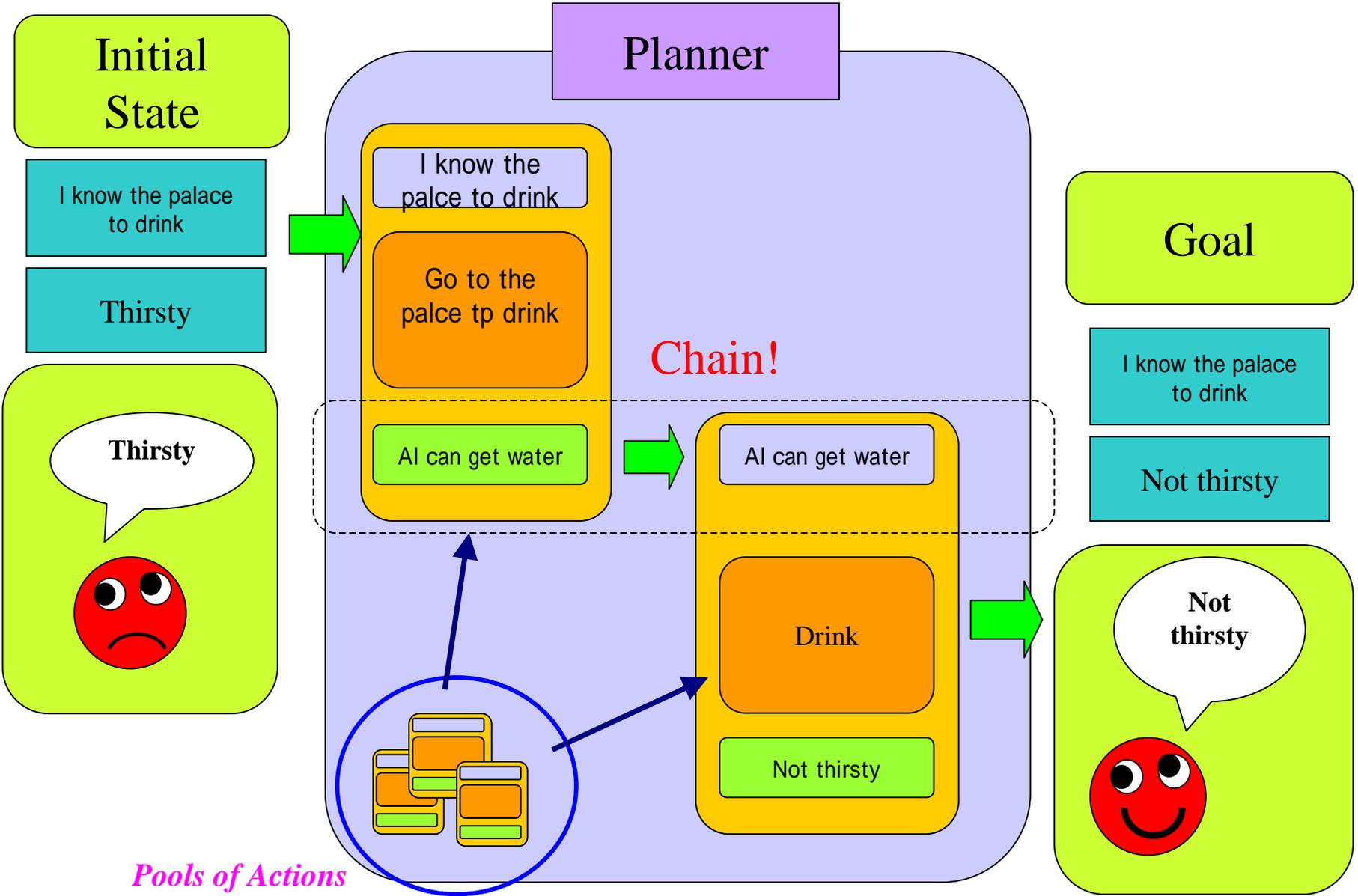


Precondition = Condition needed to take the action

Effect = Result caused by the action

# Chaining

# Planning by Chaining



# Planning system for F.E.A.R.

**kTargetIsDead = true**  
Soldier A died

**kTargetAtme = true**  
Soldier B is aiming at me.

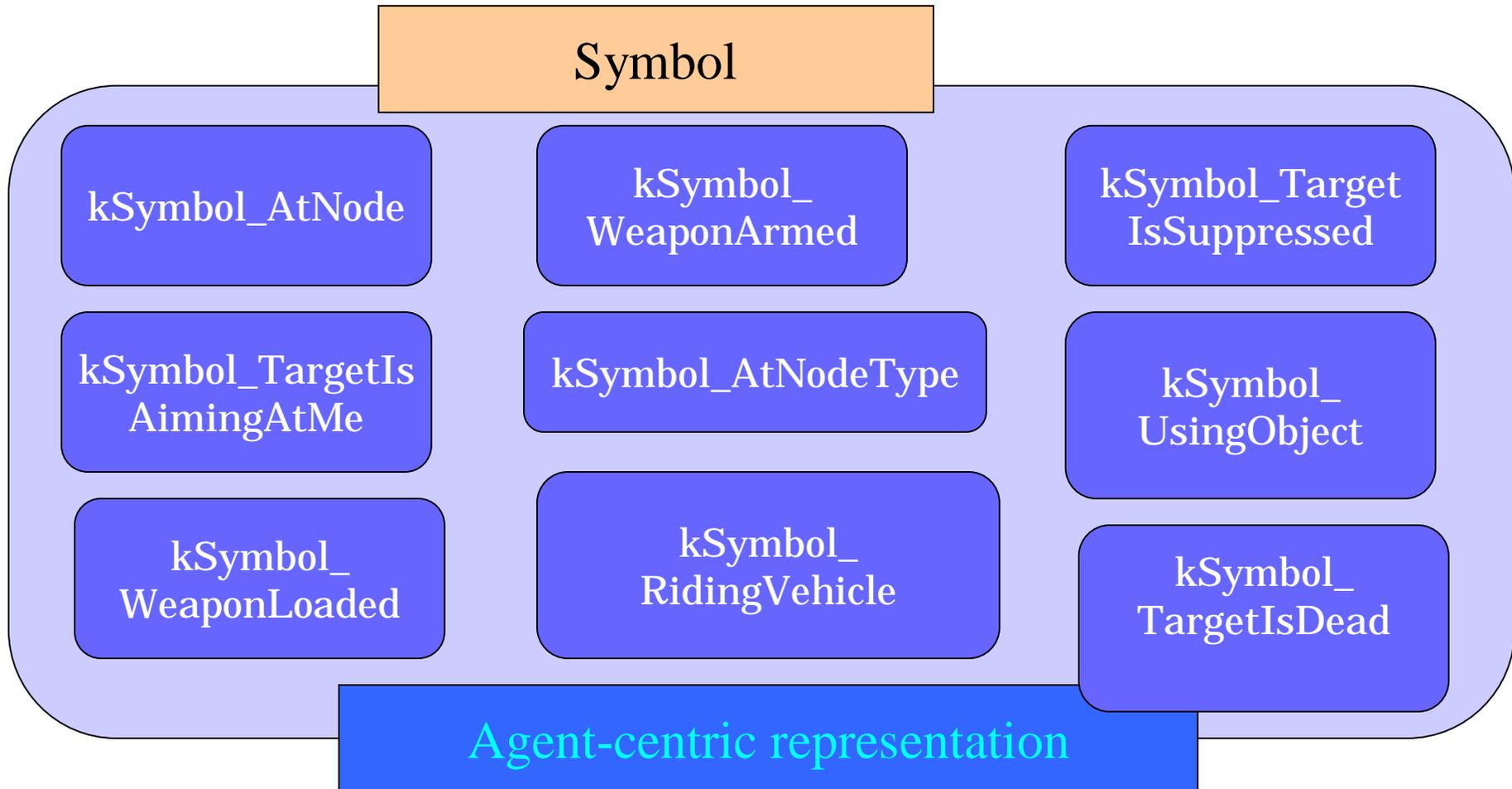


**kWeaponIsLoaded = false**  
I have no weapon...

# Planning system for F.E.A.R.

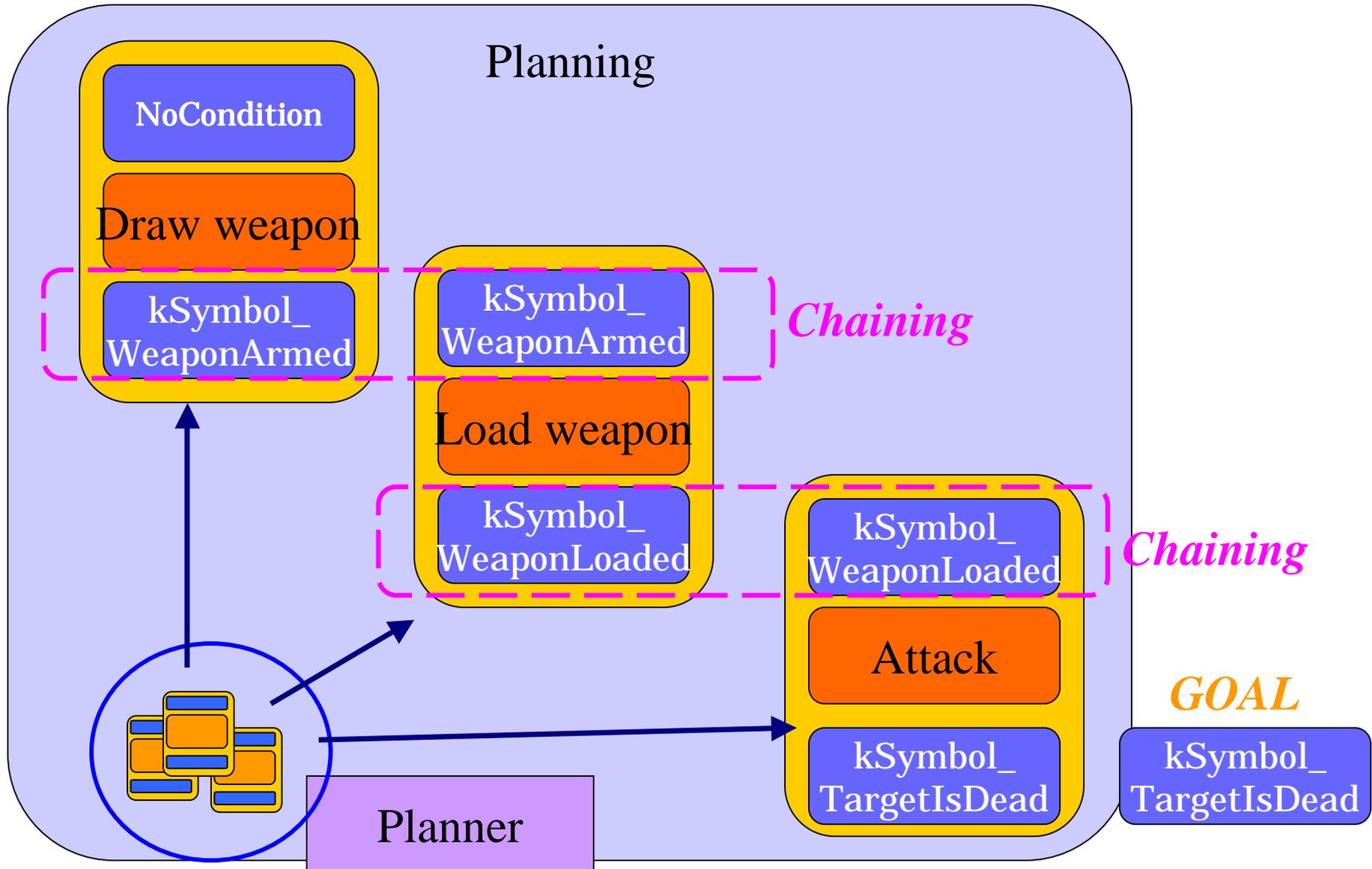
Simple representation of agent's world

→ 20 symbols for representing agent's world

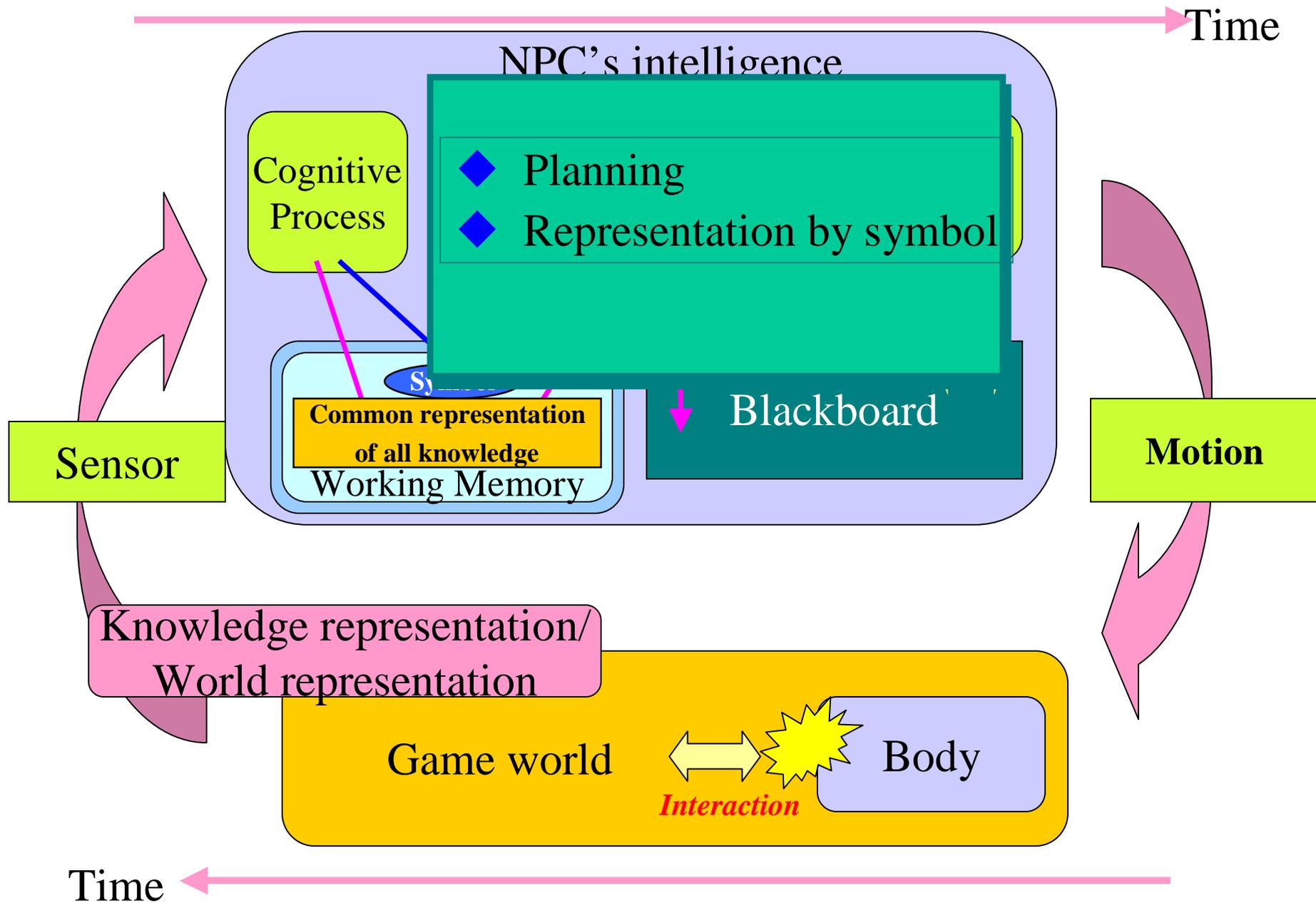


# Planning system for F.E.A.R.

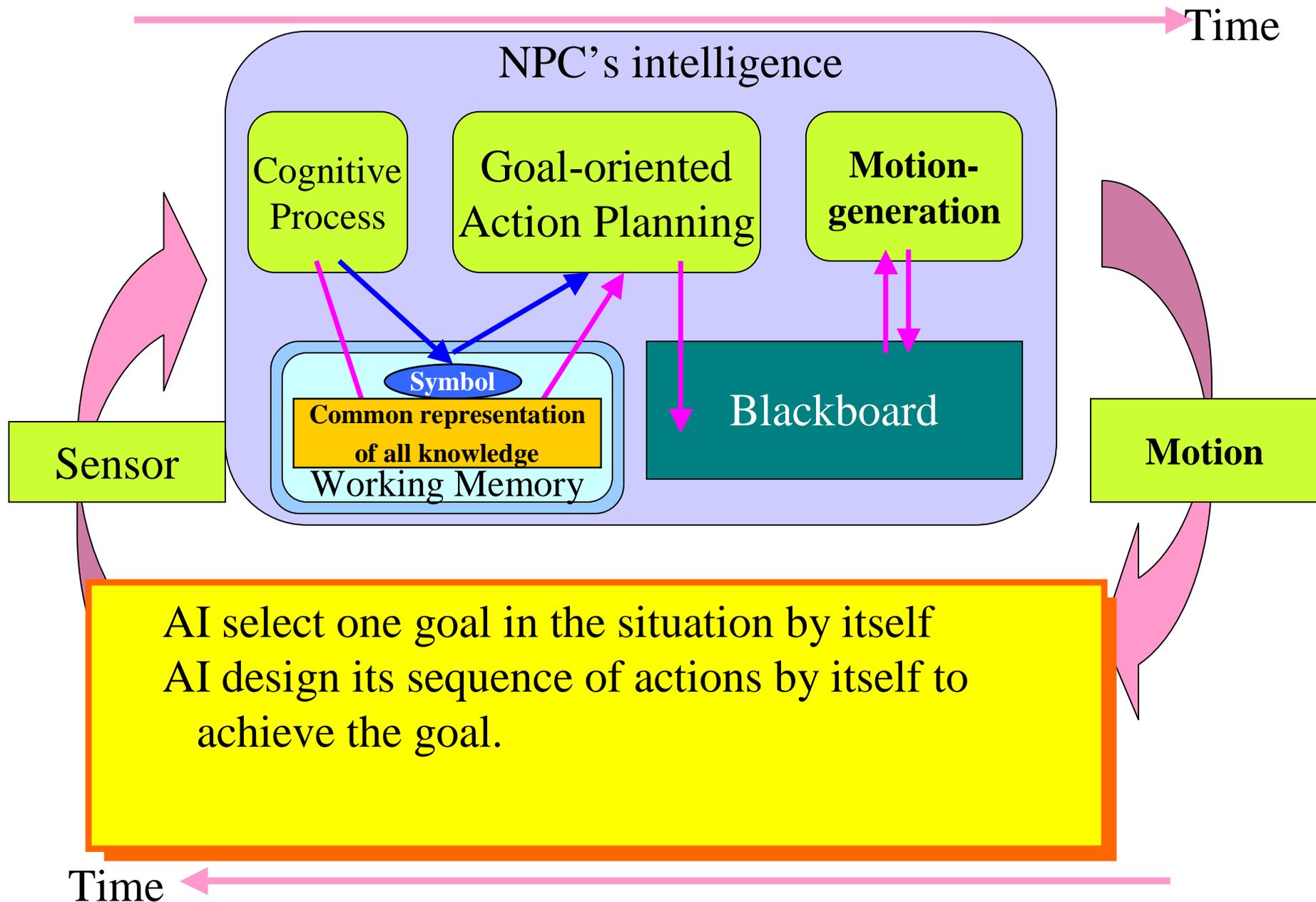
## Chaining based on symbol representation



# F.E.A.R NPC AI architecture



# F.E.A.R NPC AI architecture



# Planning



# Planning



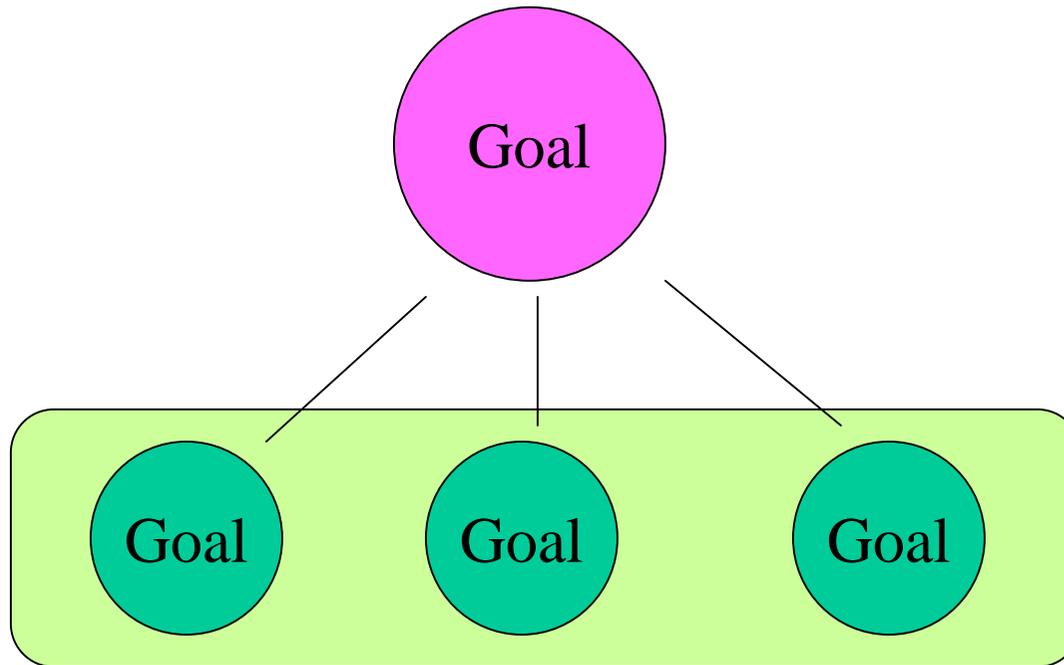


## References for F.E.A.R.

- Orkin, J. (2006), [3 States & a Plan: The AI of F.E.A.R.](#), Game Developer's Conference Proceedings.
- Jeff Orkin, Applying Goal-Oriented Action Planning to Games, AI Game Programming Wisdom 2, Charles River Media., 217-228, (2003)
- (I) Mat Buckland, “Programming Game AI by Example”, Chapter 9, WORDWARE publishing
- (II) Jeff Orkin’ HP <http://web.media.mit.edu/~jorkin/>

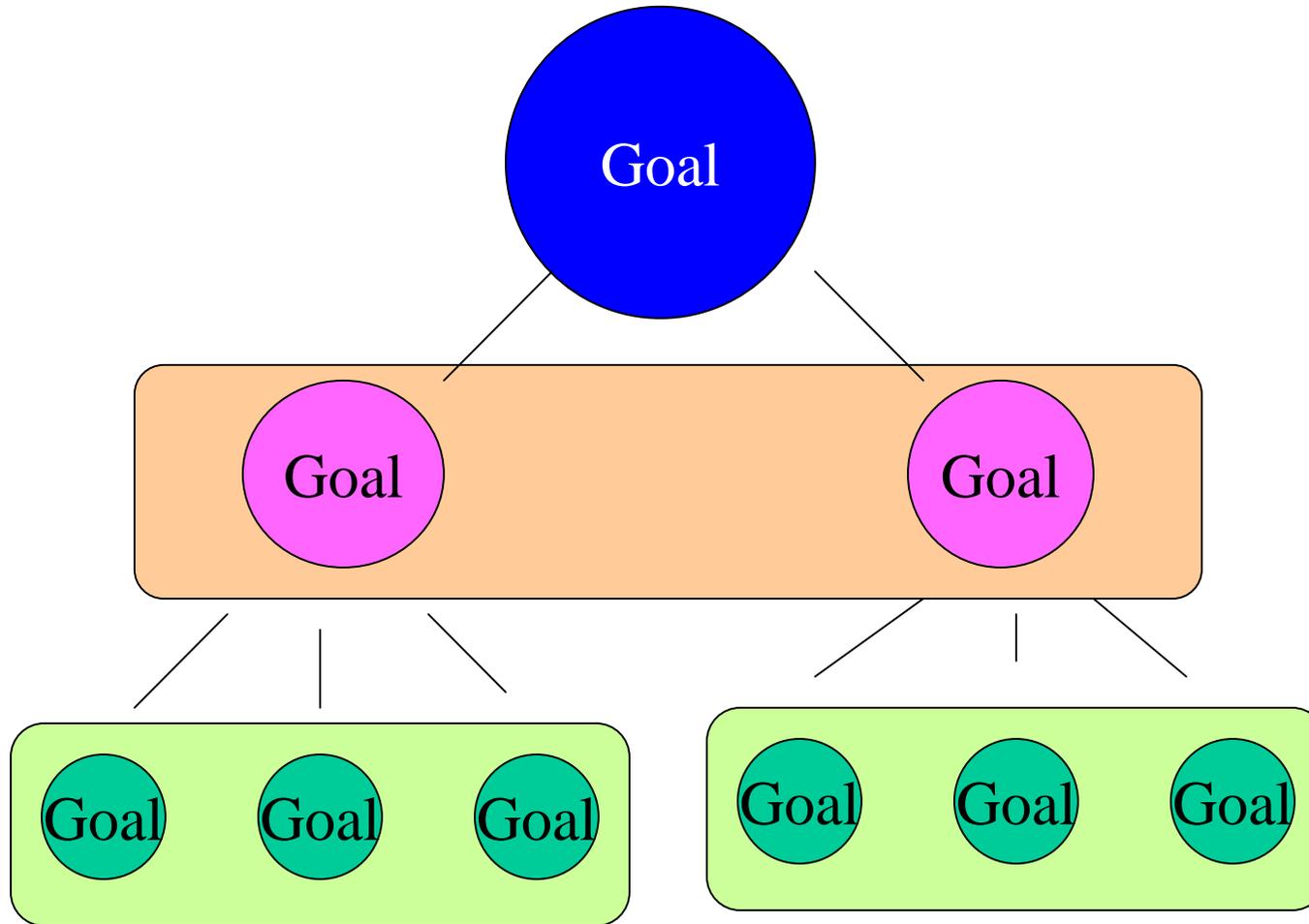
## Hierarchical goal-oriented planning

A goal is a combination of small goals



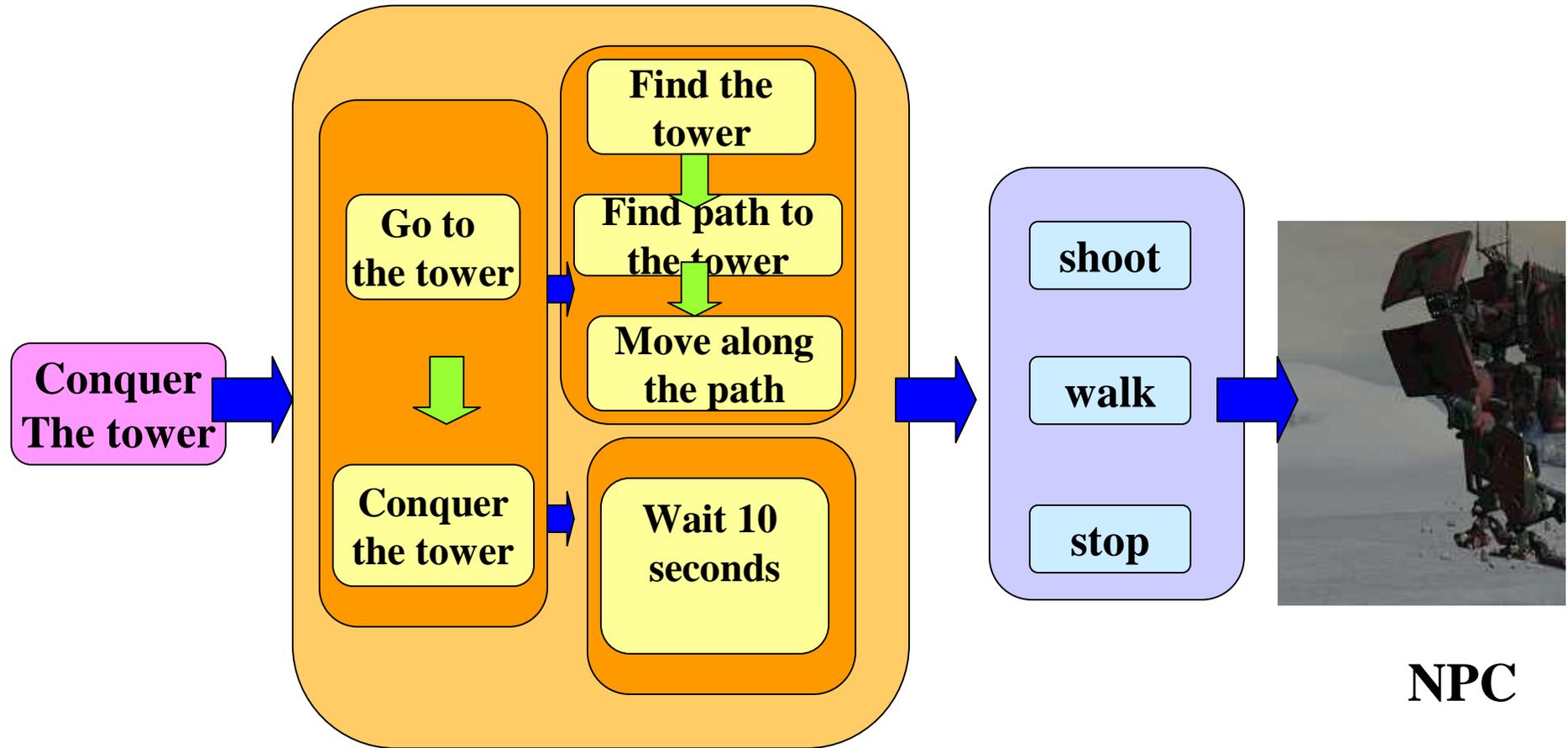
## Hierarchical goal-oriented planning

A small goal is a combination of smaller goals



**Hierarchical** In Chromehounds(Xbox360)

*real-time* Hierarchical Goal-Oriented Planning



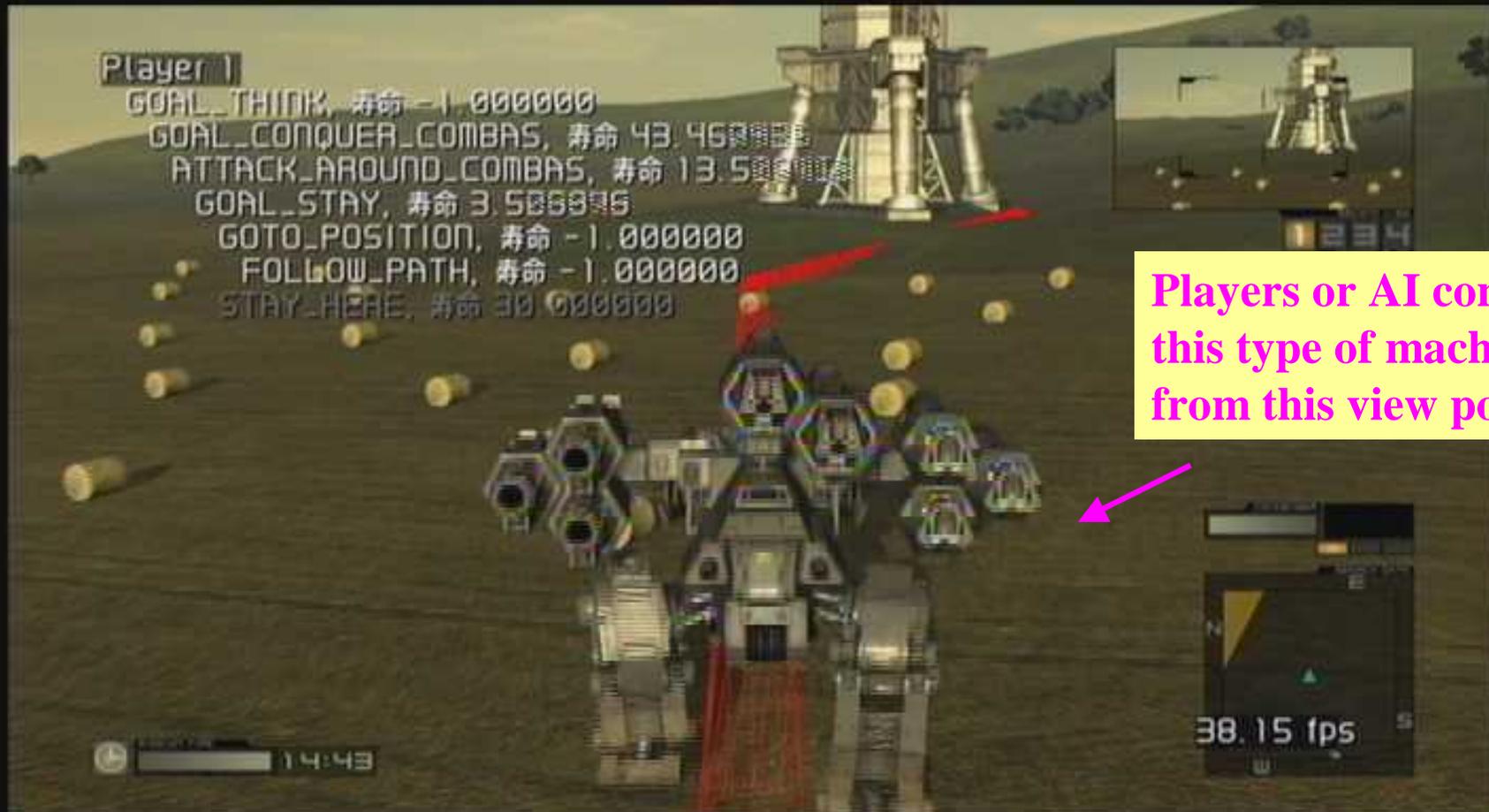
Strategy

Tactics

Behavior

Command

# Demo movie for real-time Hierarchical Goal Oriented Planning

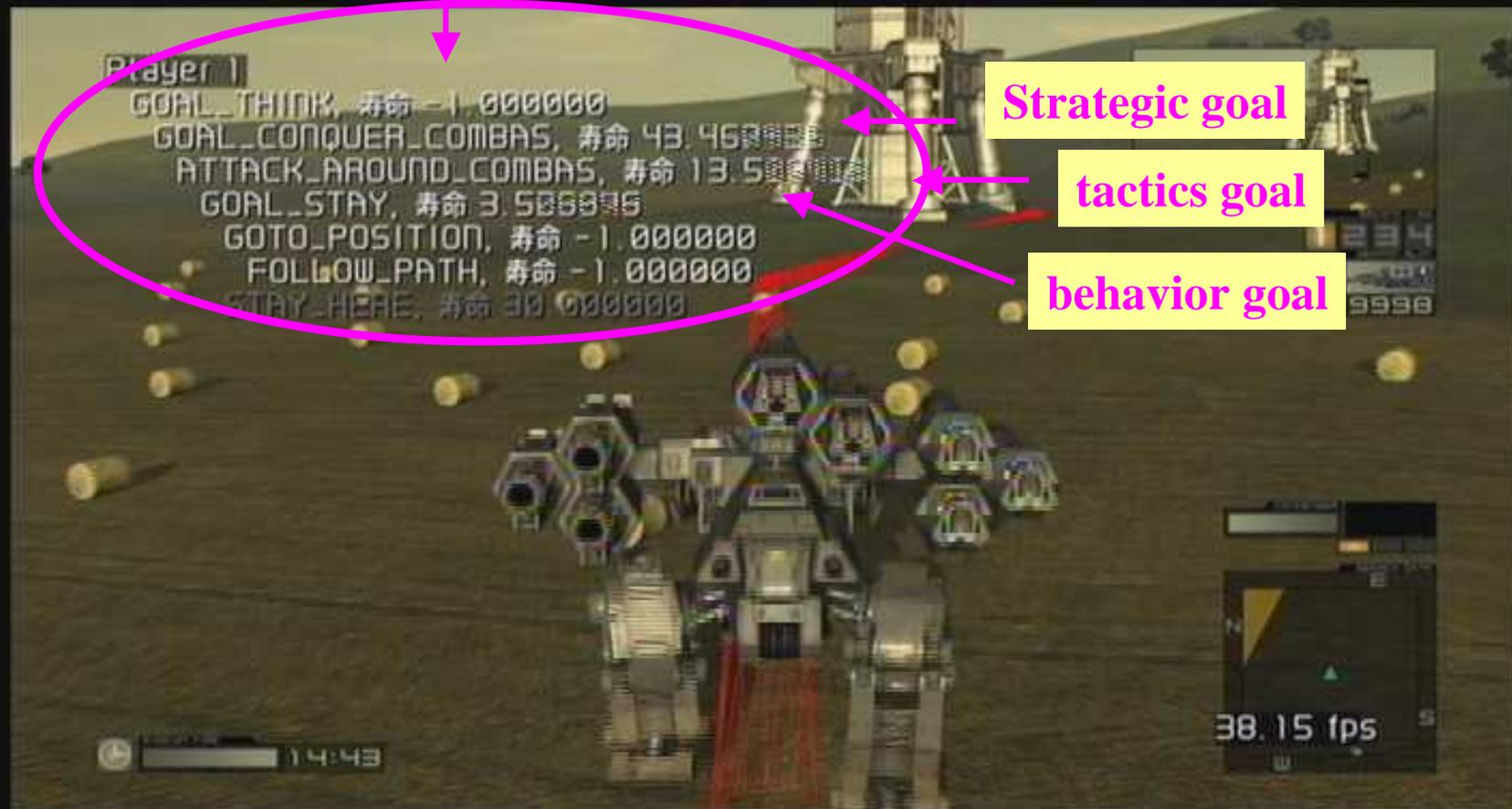


Players or AI control this type of machine from this view point.

Demo movie

# Demo movie for real-time Hierarchical Goal-Oriented Planning

NPC's Goal-oriented planning



Demo movie

Evaluation values of Team Strategies  
(Sorry, this is Japanese)

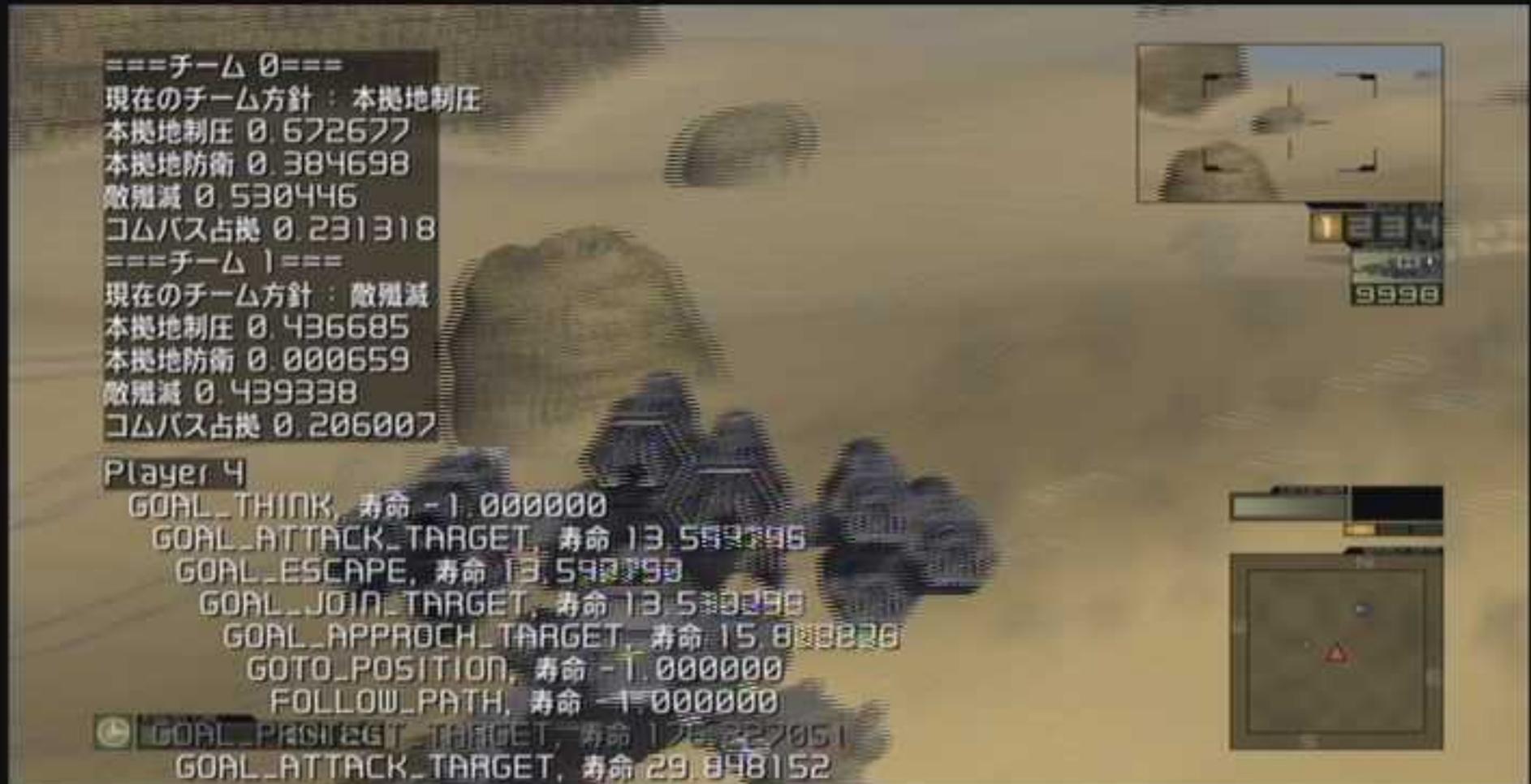
TeamAI



This agent is executing the goal “Protect” he has chosen.

Demo movie

# TeamAI



A goal from a team strategy has interrupted agent's goal.

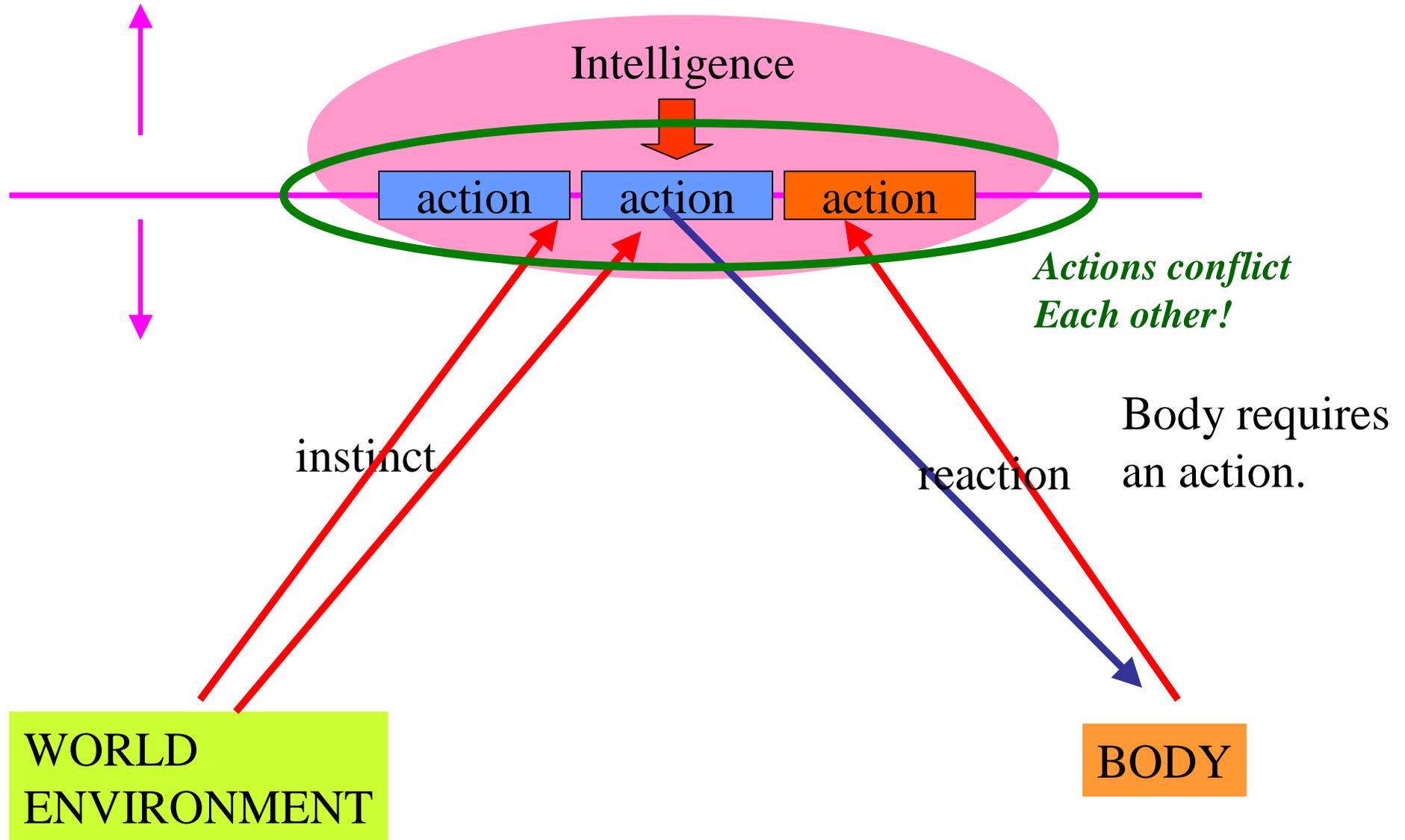
Demo movie

1<sup>st</sup> period Pattern AI

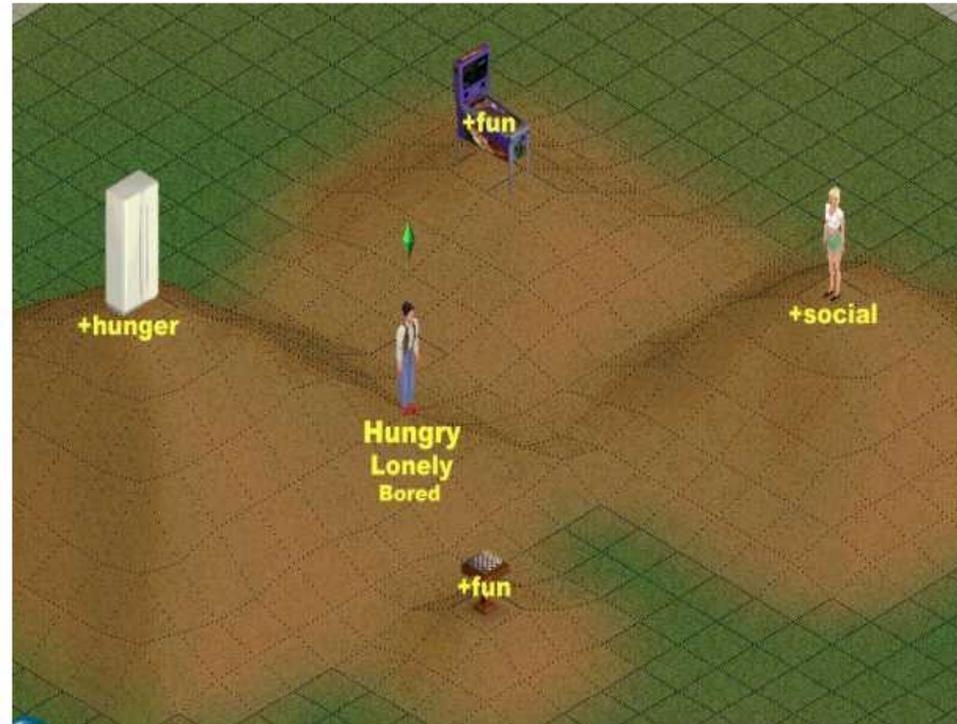
2<sup>nd</sup> period Structured AI

**3<sup>rd</sup> period Autonomous AI**

# AI has inner model.



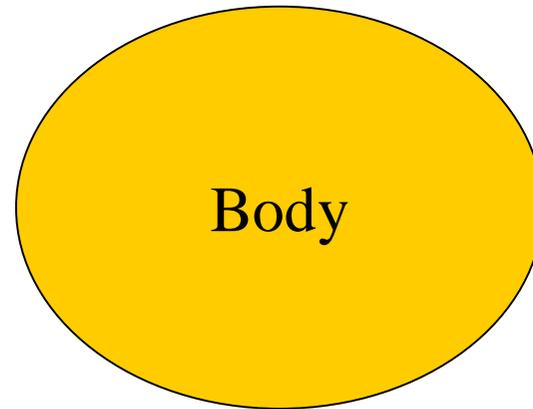
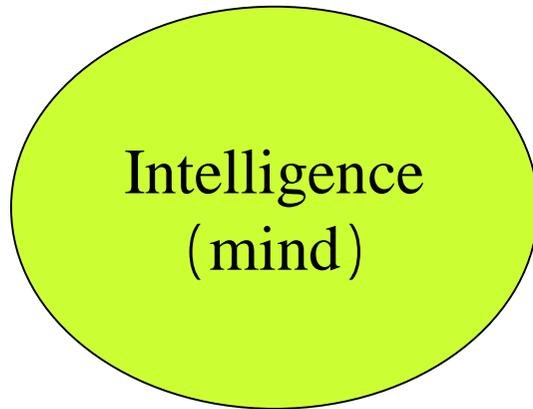
# dynamic model by inner parameters & daily-life AI control by objects



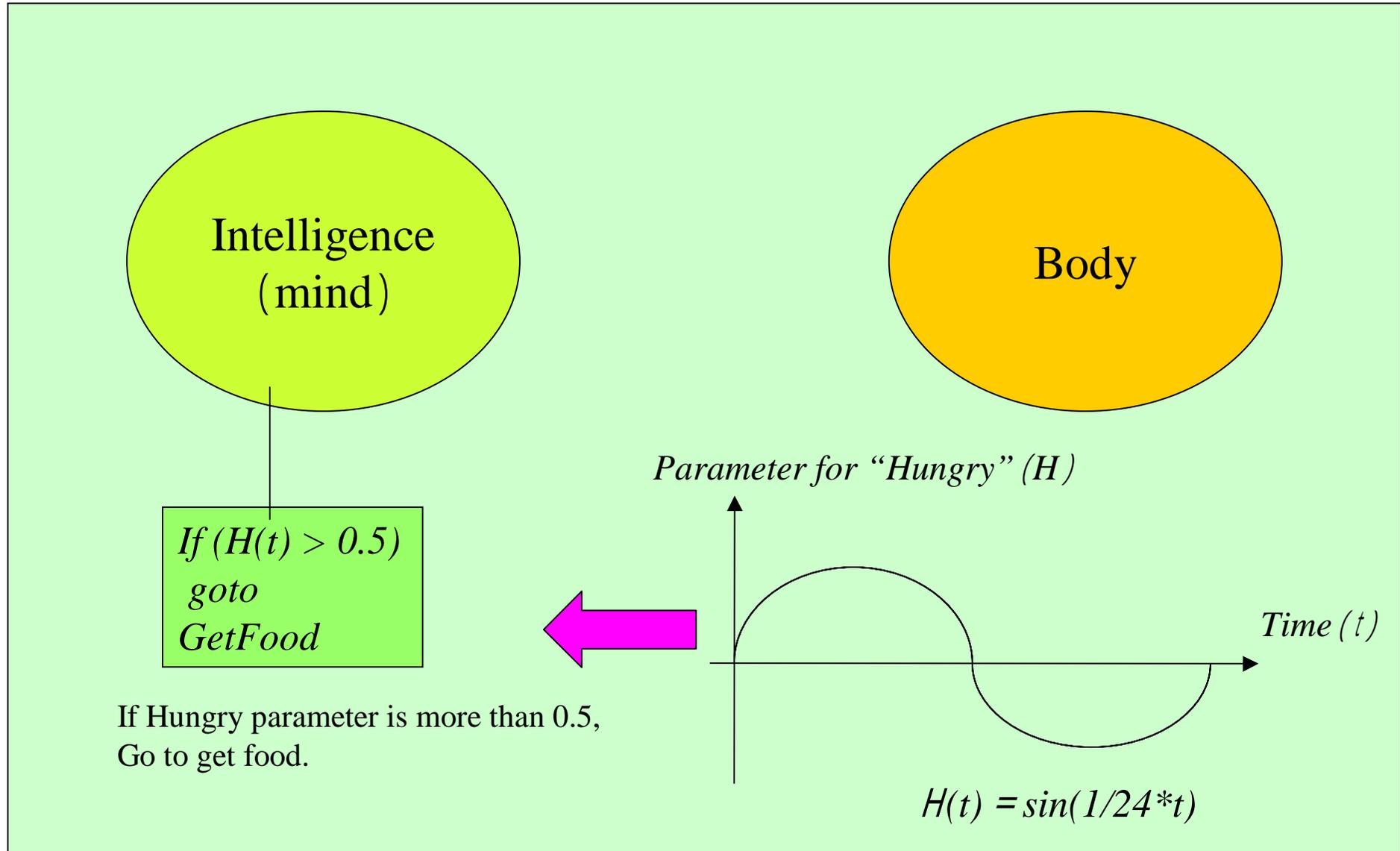
*From battle AI to daily-life AI !*

Daily-life AI is more difficult than Battle AI, because battle AI is limited only to actions of battle, but daily-life AI is possible to do everything.

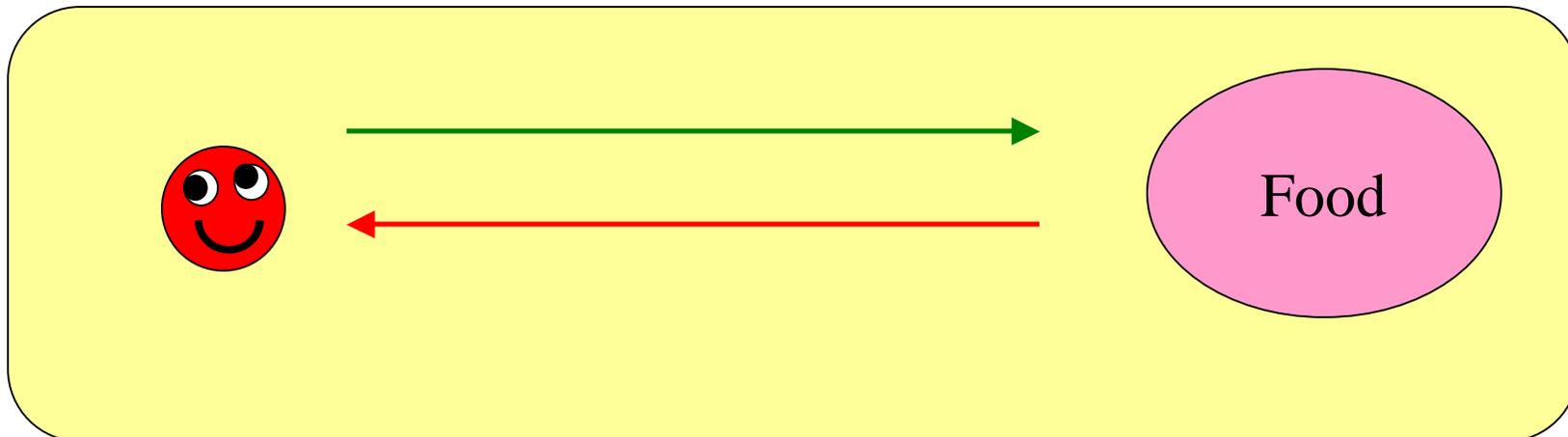
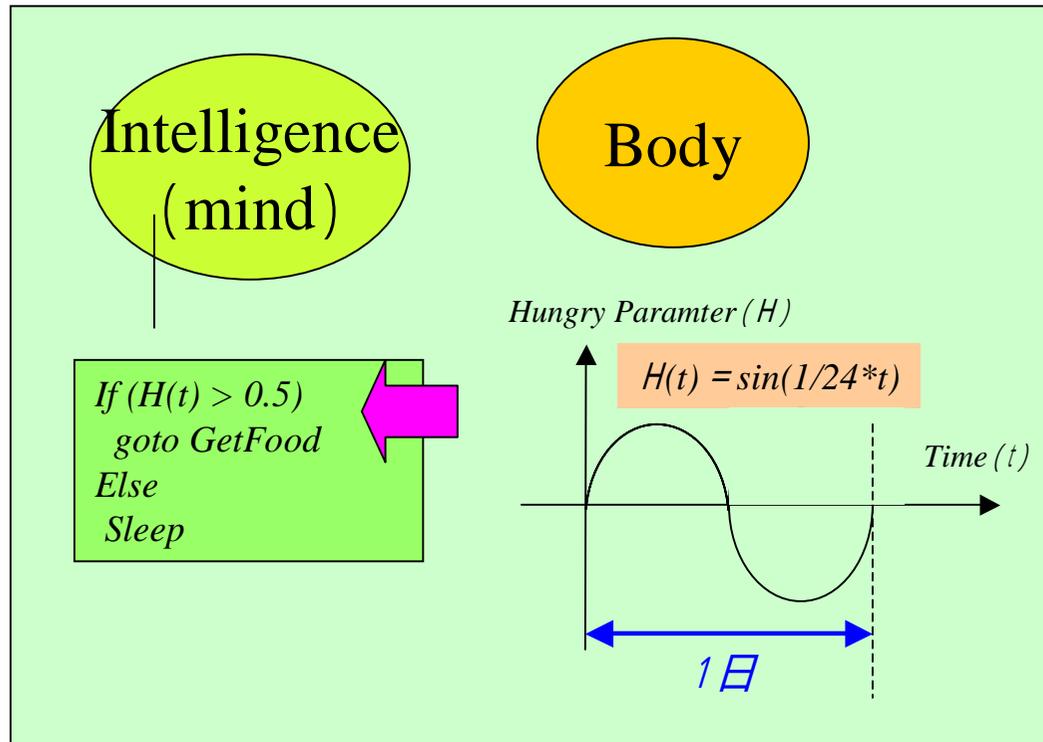
# How to make Autonomous AI



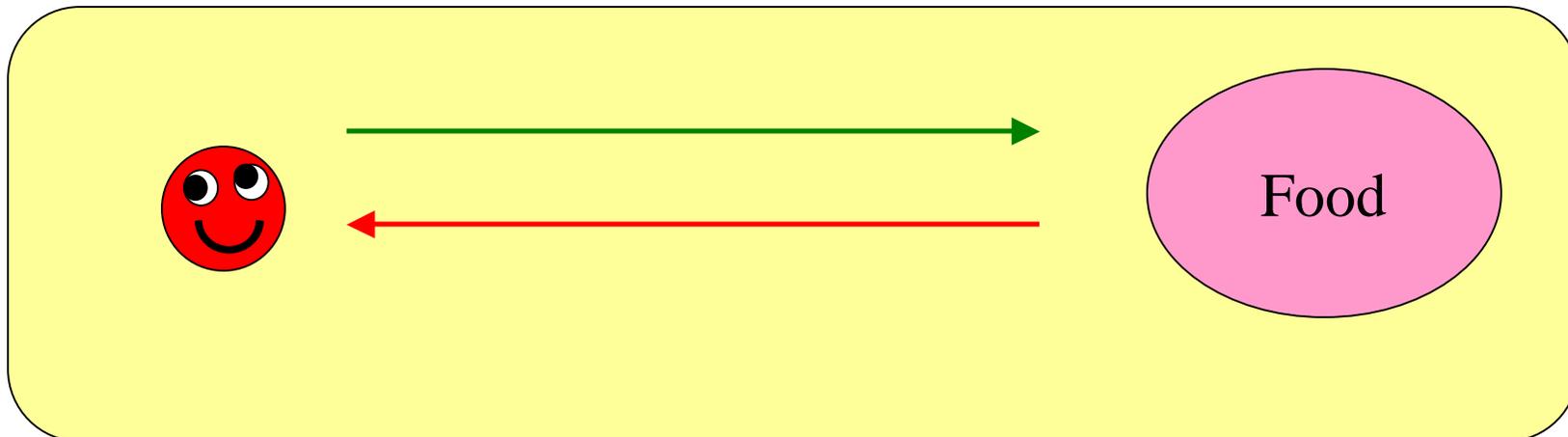
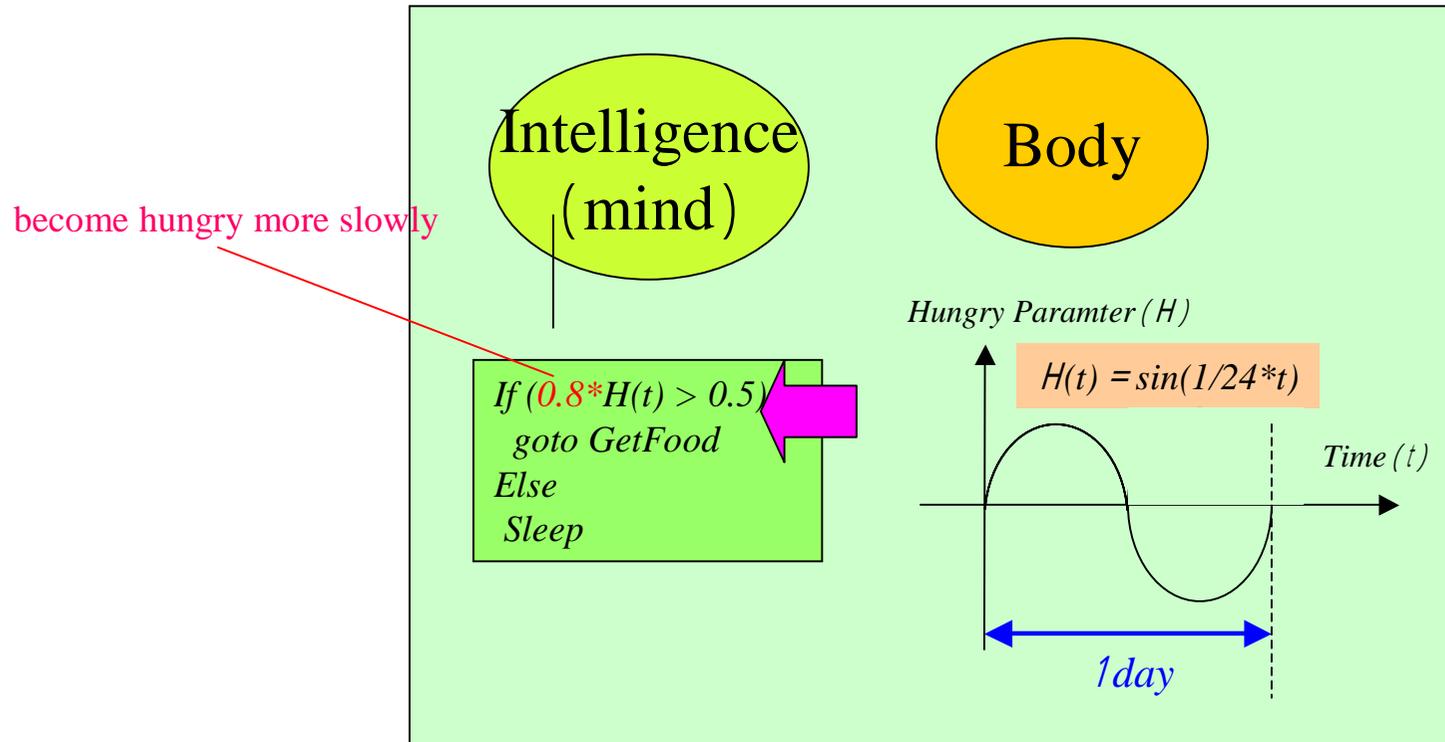
# How to make Autonomous AI



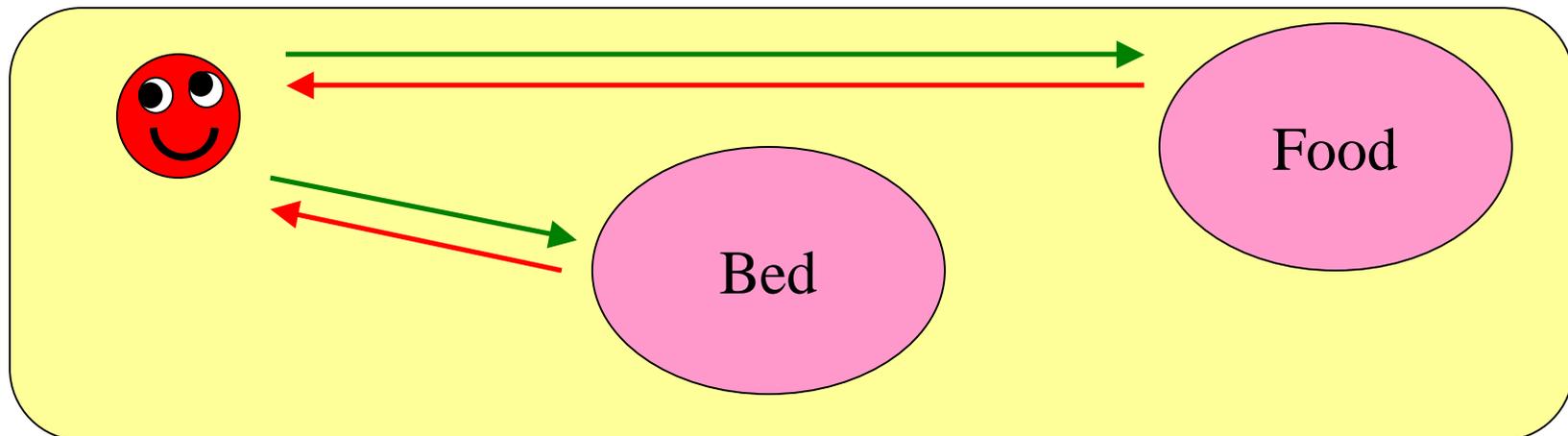
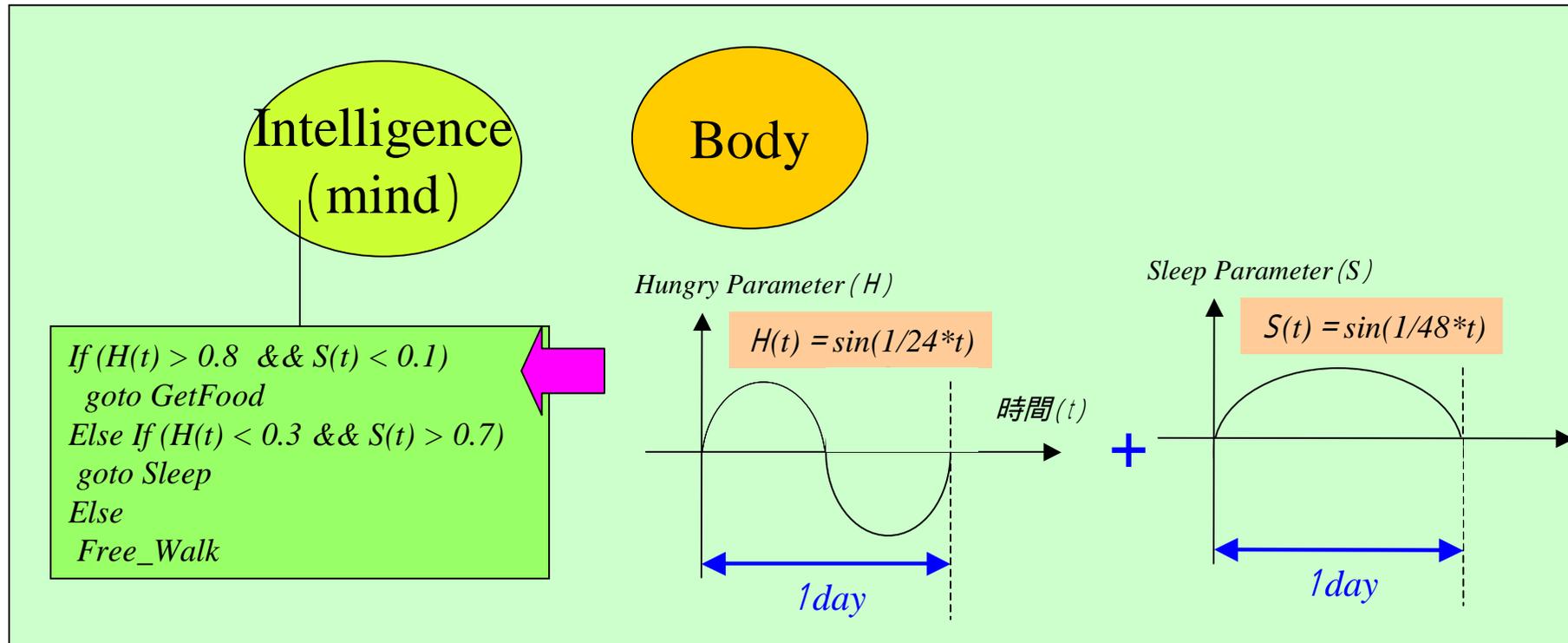
# How to make Autonomous AI



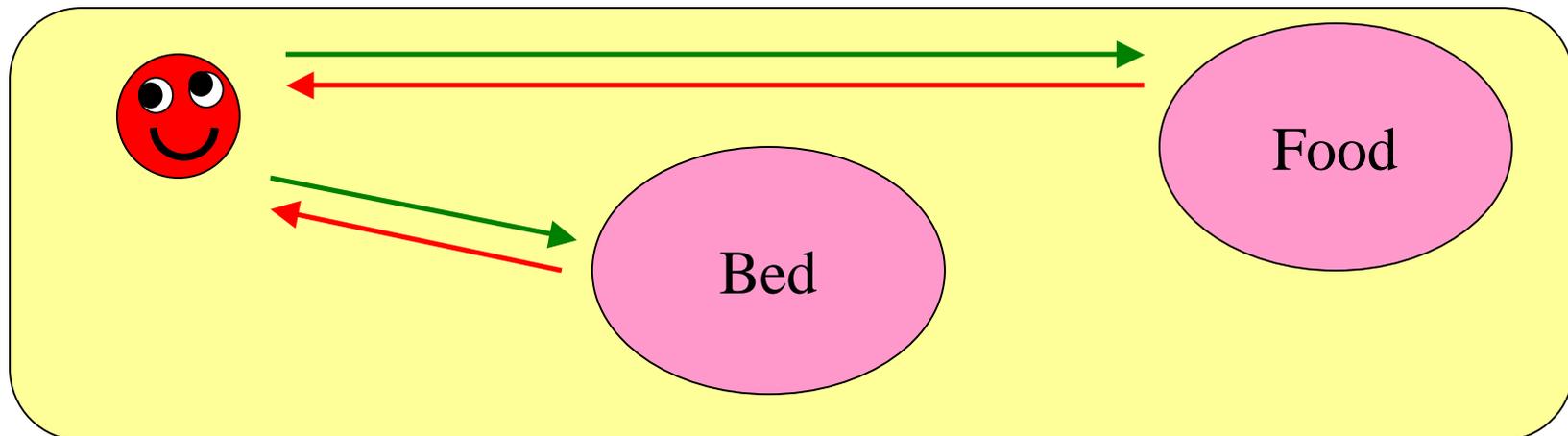
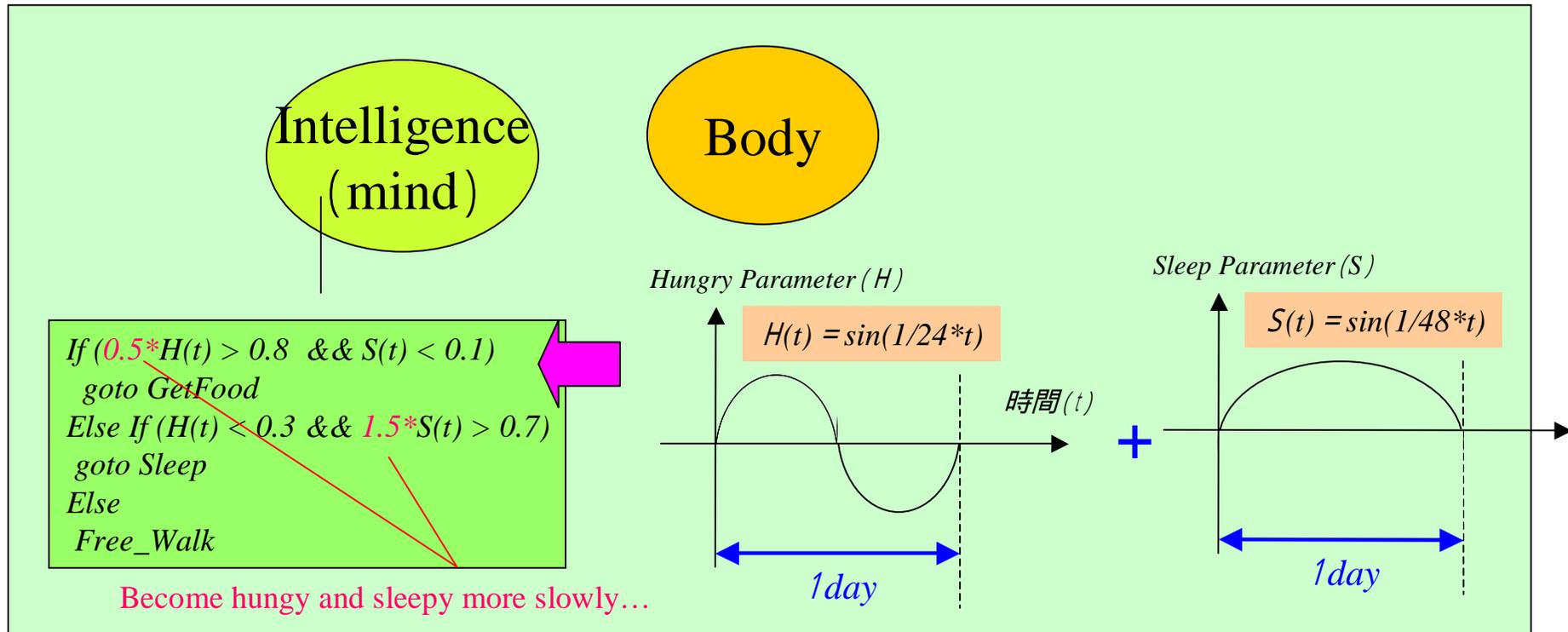
# How to make Autonomous AI



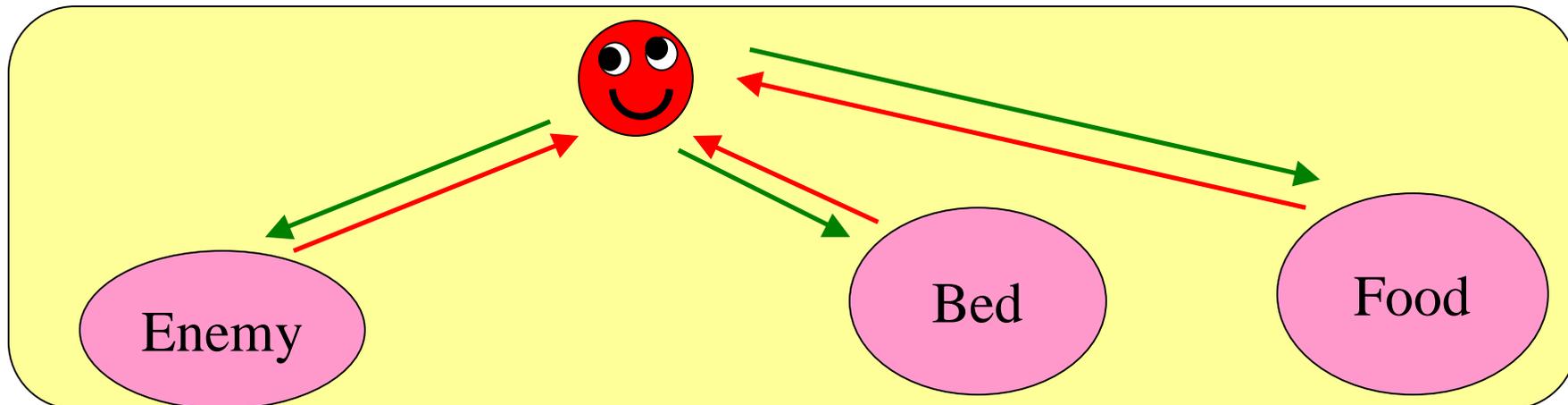
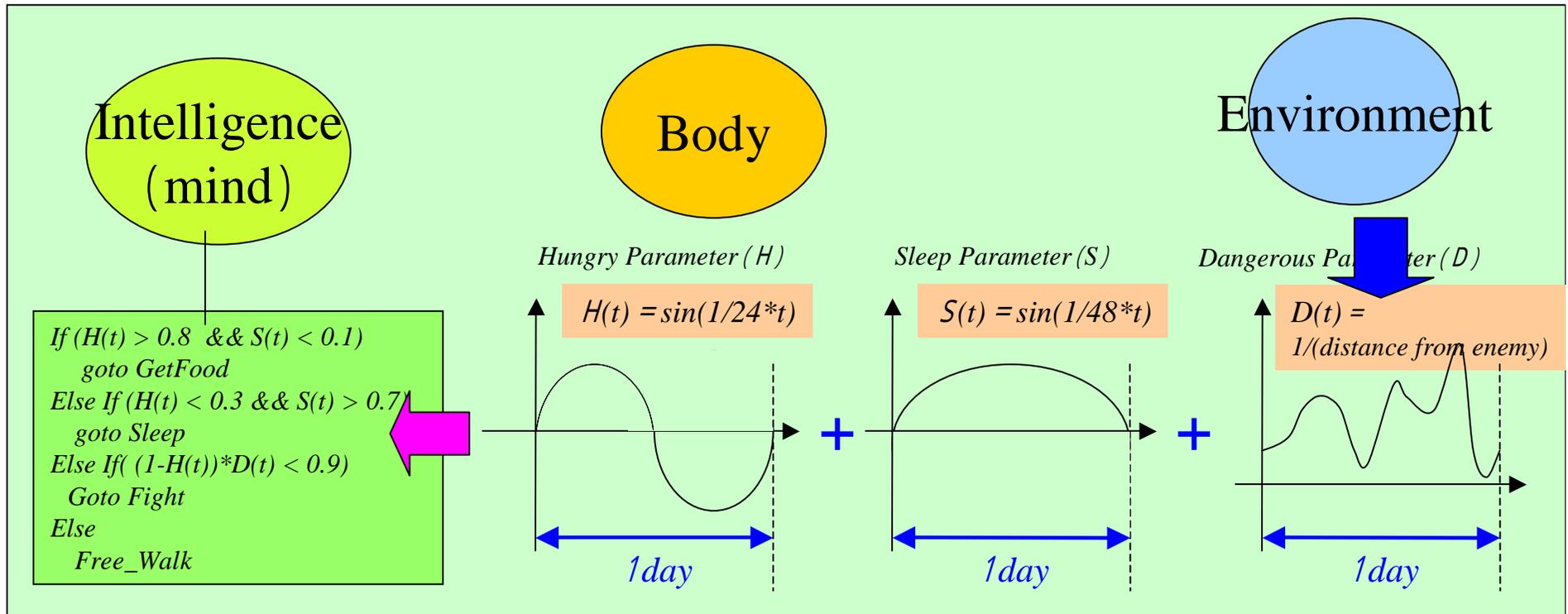
# How to make Autonomous AI



# How to make Autonomous AI(individualize)



# How to make Autonomous AI



**Breaking  
the Cookie-Cutter:  
Modeling Individual  
Personality,  
Mood, and Emotion  
in Characters**

For example

*The Sims 3 (Maxis, EA)*

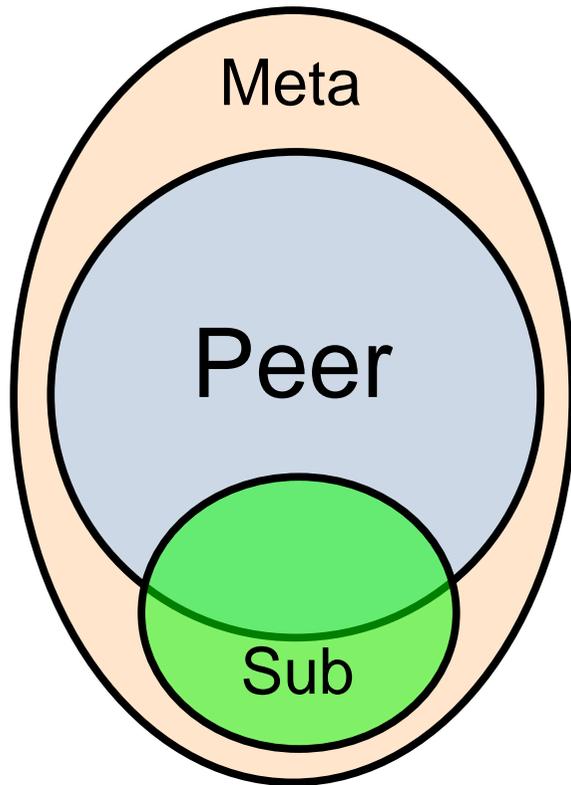


*Trait ... Character Feature, Personal parameter  
Wish ... Goal for future*

**Sims Getting Smarter: AI in The Sims 3(IGN)**  
<http://pc.ign.com/articles/961/961065p1.html>

GDC09 <http://cmpmedia.vo.llnwd.net/o1/vault/gdc09/slides/Combined.ppt>

# The Sims : How to make AI



Meta 

Peer 

Sub 

**[Principle] Sims (not under direct player control) choose what to do by selecting, from all of the possible behaviors in all of the objects, the behavior that maximizes their current happiness.**

AI is constructed as a dynamic system controlled by many parameters.  
PeerAI is AI which controls a character's behavior.

# Data structure for Objects

**Data (Class, State)**

**Graphics (sprites, z-  
Animations (skeletal)**

**Sound Effects**

**Code (Edith)**

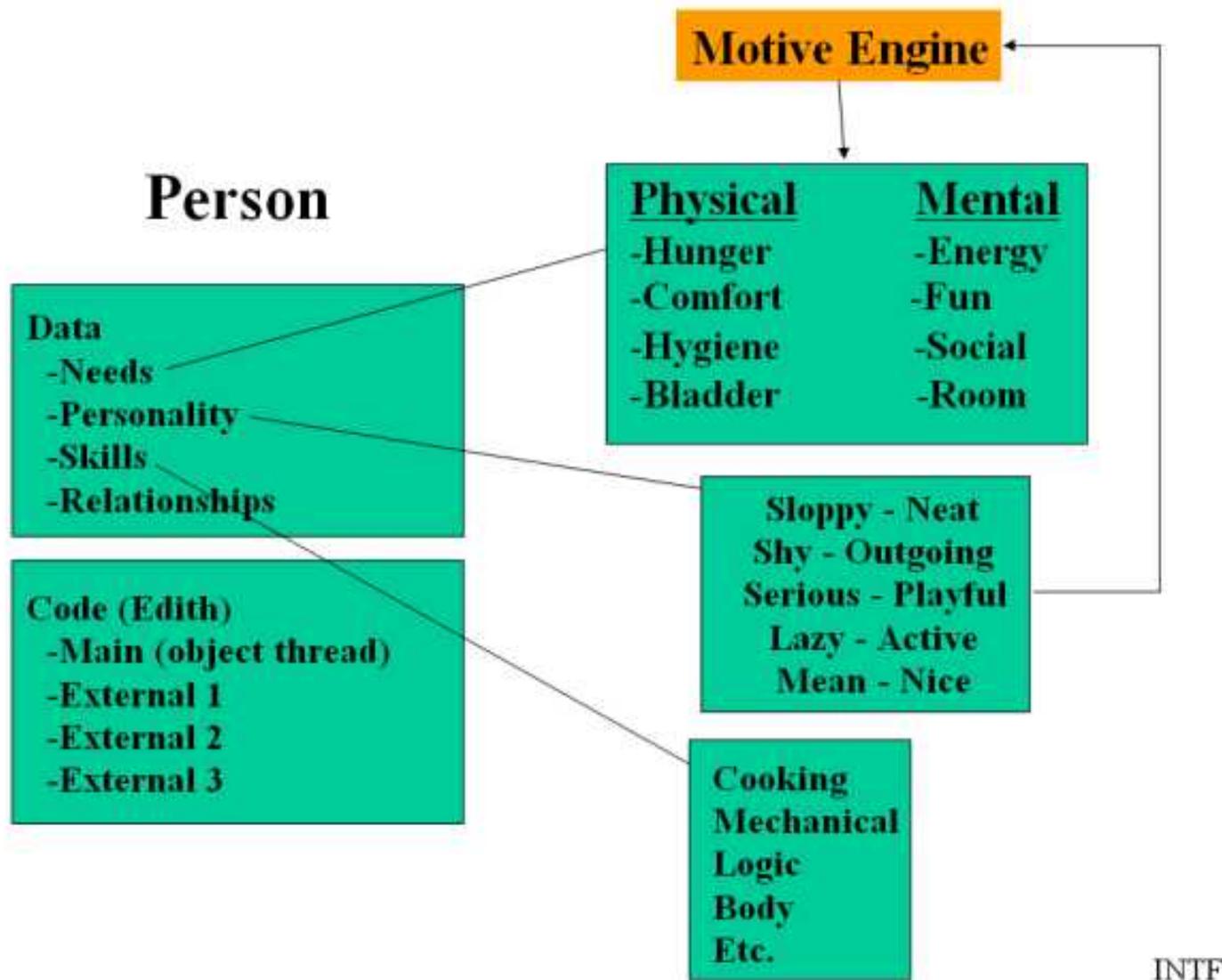
- Main (object thread)**
- External 1**
- External 2**
- External 3**



**Ken Forbus, “Simulation and Modeling: Under the hood of The Sims” (NorthWestern University)**

[http://www.cs.northwestern.edu/%7Eforbus/c95-gd/lectures/The\\_Sims\\_Under\\_the\\_Hood\\_files/frame.htm](http://www.cs.northwestern.edu/%7Eforbus/c95-gd/lectures/The_Sims_Under_the_Hood_files/frame.htm)

# Data structure for NPC



Ken Forbus, “Simulation and Modeling: Under the hood of The Sims” (NorthWestern University)

[http://www.cs.northwestern.edu/%7Eforbus/c95-gd/lectures/The\\_Sims\\_Under\\_the\\_Hood\\_files/frame.htm](http://www.cs.northwestern.edu/%7Eforbus/c95-gd/lectures/The_Sims_Under_the_Hood_files/frame.htm)

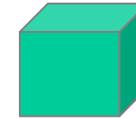
# 最適な行動を選択する



Hunger +20  
Comfort -12  
Hygiene -30  
**Bladder -75**  
Energy +80  
Fun +40  
Social +10  
Room -60

**Mood +18**

Toilet



**Mood +26**

-Urinate (+40 Bladder)  
-Clean (+30 Room)  
-Unclog (+40 Room)

Bathtub

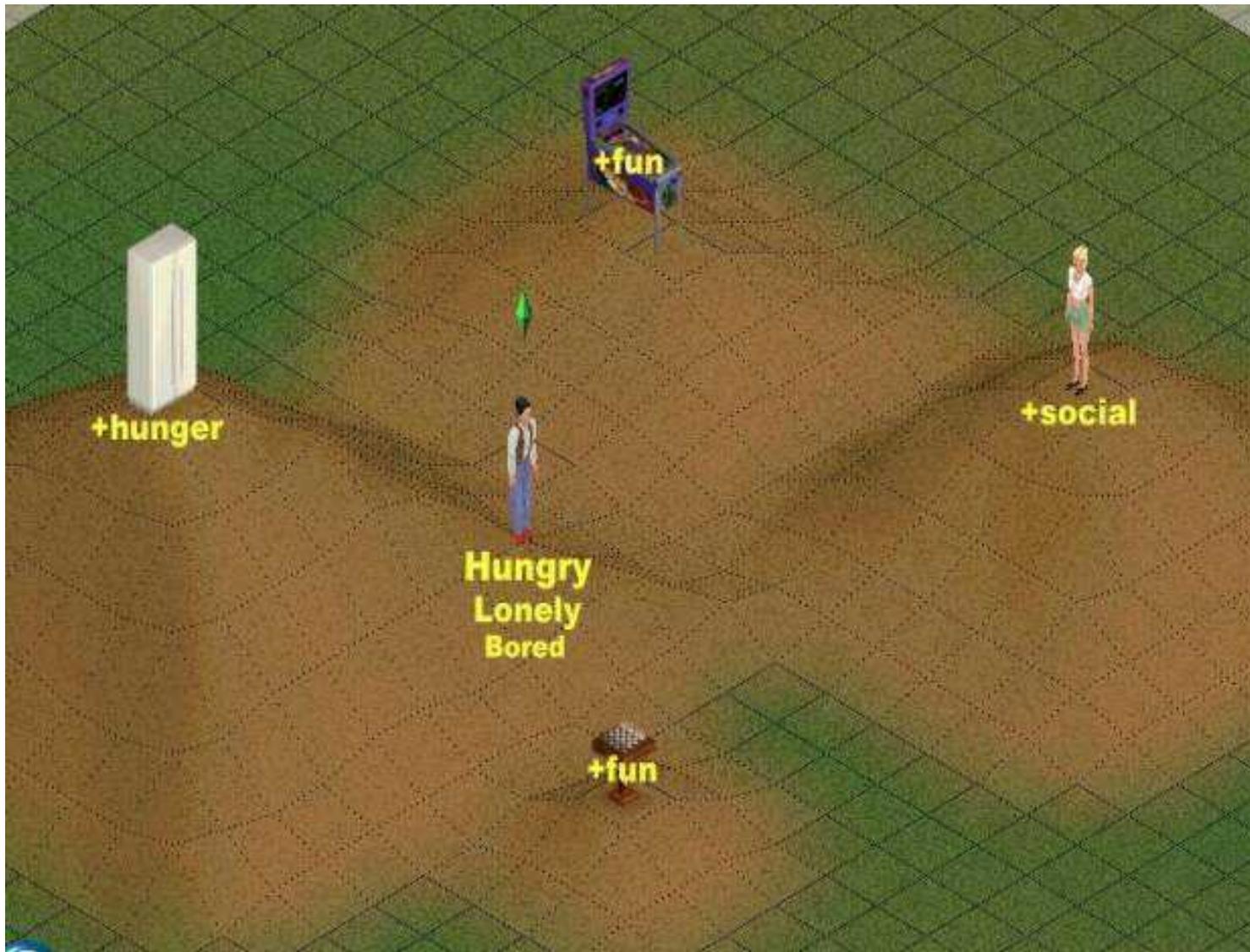


**Mood +20**

-Take Bath(+40 Hygiene)  
(+30 Comfort)  
-Clean (+20 Room)

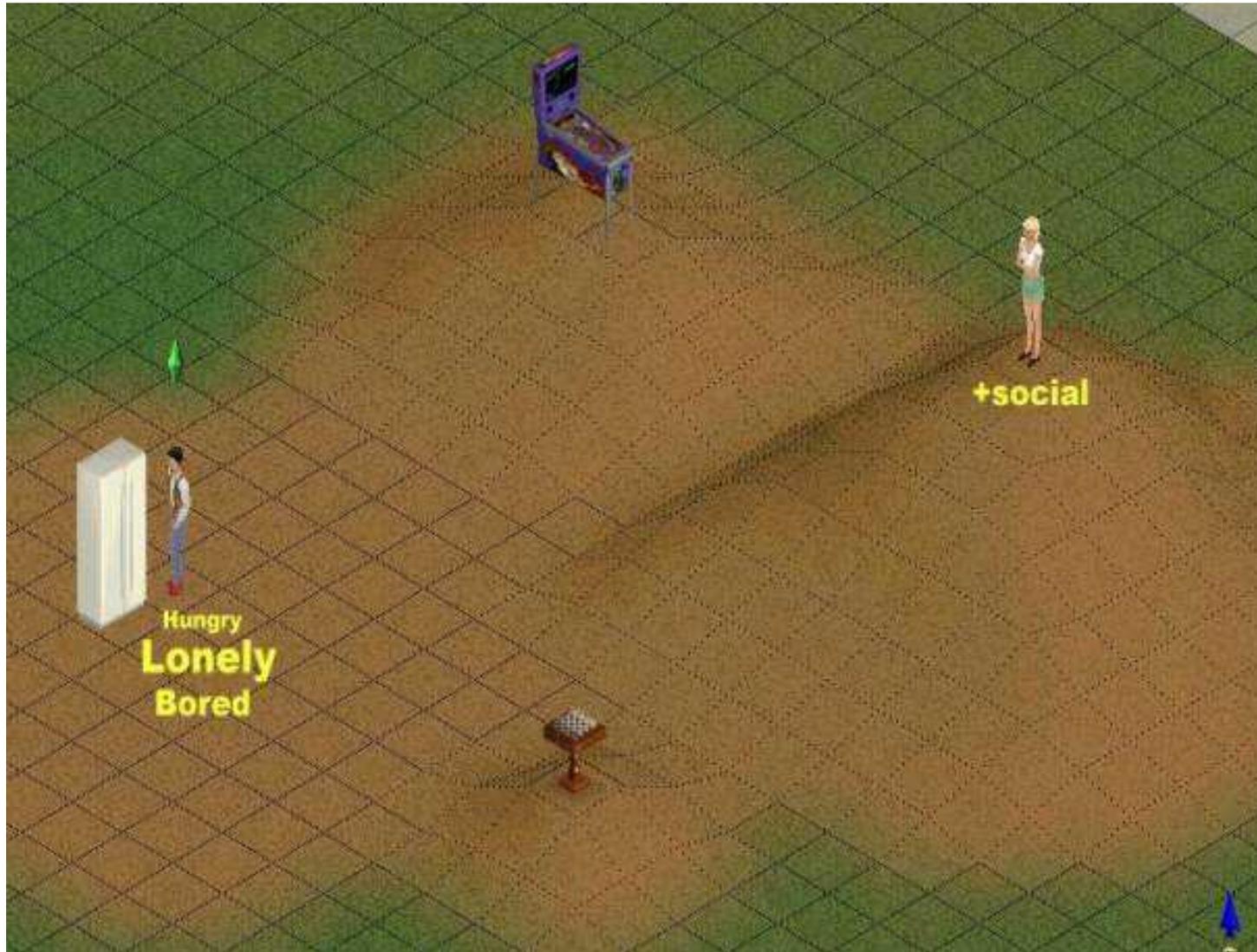
[Principle] Sims (not under direct player control) choose what to do by selecting, from all of the possible behaviors in all of the objects, the behavior that maximizes their current happiness.

# Maximizes his current happiness



Refrigerator make his happiness up much better than the others.

# Maximizes his current happiness



Go to a refrigerator

# maximizes his current happiness



He becomes not hungry, and will talk with a girl to kill bored time.

# The Sims 3 set more mood & desire parameters.

The screenshot displays the 'InteractionBrowser' window in The Sims 3 development environment. It features a table of interactions with columns for Interaction, Object, Checks, and multiple Output columns. A pink circle highlights the 'Action' column (Interaction) and a green circle highlights the 'Object' column. Below the table, there are three graphs:

- Bladder Auto Satisfy:** A line graph showing values over time (12 am, 6 am, 12 pm, 6 pm, 12 am). The y-axis ranges from -100 to 100. Data points are approximately: (12 am, 23), (6 am, -60), (12 pm, 90), (6 pm, -60), (12 am, 90).
- Bladder Desire:** A line graph showing values over time. The y-axis ranges from 0 to 4000. Data points are approximately: (12 am, 0), (6 am, 0), (12 pm, 900), (6 pm, 4000), (12 am, 4000).
- Bladder Mood Contribution:** A line graph showing values over time. The y-axis ranges from -100 to 100. Data points are approximately: (12 am, 0), (6 am, 0), (12 pm, 0), (6 pm, 0), (12 am, 0).

# Conclusion

NPC AI has developed : Pattern AI, Algorithm AI, Structured AI, and Agent architecture.

A new paradigm of game AI has given users new game experiences.

NPC AI has changed the role in the game history from a simple enemy to human-like AI.

# (I) References (English)

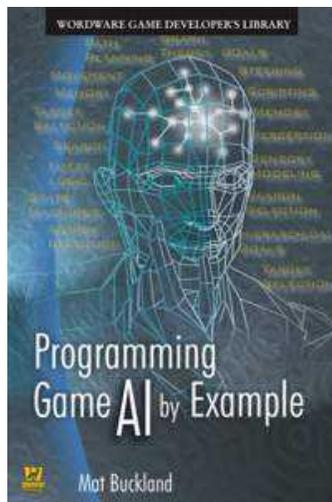
- (1) The fundamental of Game AI such as “FSM”, “Planning”, and “Evaluation function”



*“Programming Game AI by Example”*

(Mat Buckland) [http://www.ai-junkie.com/books/toc\\_pgaibe.html](http://www.ai-junkie.com/books/toc_pgaibe.html)

<http://www.jpup.com/Catalog/9781556220784/student/>



Source Code

<http://www.wordware.com/files/ai/>

## (II)References (English)

### WEB

Mat Buckland

ai-junkie <http://www.ai-junkie.com/ai-junkie.html>

Craig Raynolds

RAYNOLDS <http://www.red3d.com/>

リンク集 <http://www.red3d.com/cwr/games/>

Steven Rabin

GameAI <http://www.gameai.com/>

CGF-AI

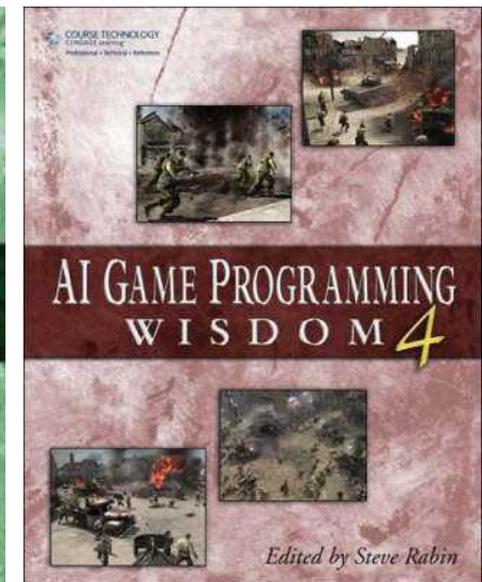
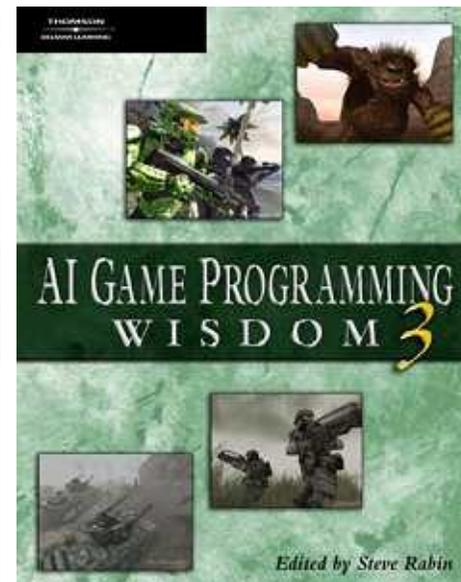
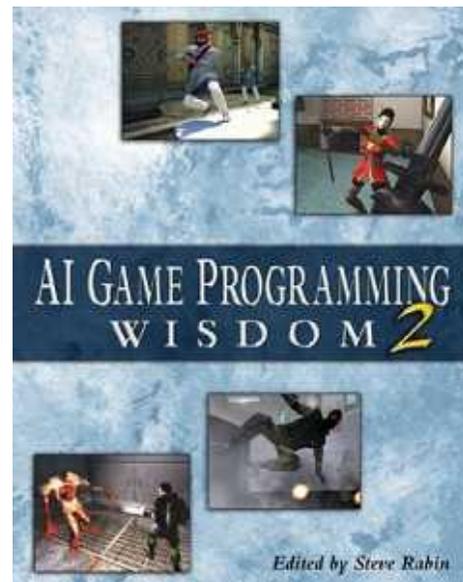
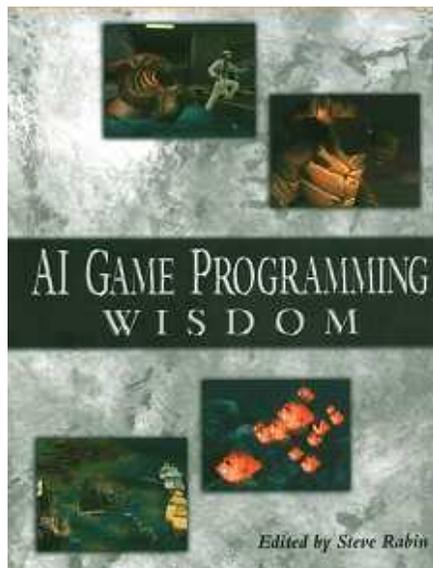
CGF-AI <http://www.cgf-ai.com/>

リンク集 <http://www.cgf-ai.com/links.html>

# (II)References (English)

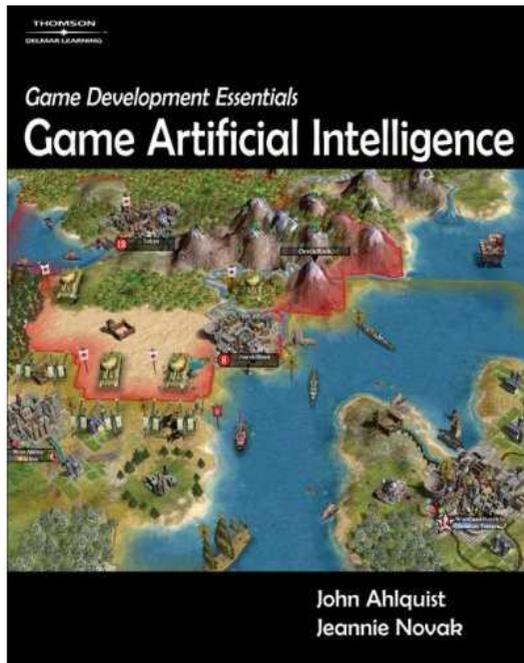
## Books

### AI Game Programming Wisdom 1 - 4



## (II)References (English)

### 書籍



The history of Game AI for both  
game programmer and game designer!

John Ahlquist, Jeannie Novak

Game Development Essentials: Game Artificial Intelligence



## References for Killzone

- [1] **William van der Sterren** (2001), "Terrain Reasoning for 3D Action Games", [http://www.cgf-ai.com/docs/gdc2001\\_paper.pdf](http://www.cgf-ai.com/docs/gdc2001_paper.pdf)
- [2] **William van der Sterren** (2001) , "Terrain Reasoning for 3D Action Games(GDC2001 PPT)", [http://www.cgf-ai.com/docs/gdc2001\\_slides.pdf](http://www.cgf-ai.com/docs/gdc2001_slides.pdf)
- [3] **Remco Straatman, Arjen Beij, William van der Sterren** (2005) , "Killzone's AI : Dynamic Procedural Combat Tactics", [http://www.cgf-ai.com/docs/straatman\\_remco\\_killzone\\_ai.pdf](http://www.cgf-ai.com/docs/straatman_remco_killzone_ai.pdf)
- [4] **Arjen Beij, William van der Sterren** (2005), "Killzone's AI : Dynamic Procedural Combat Tactics (GDC2005)", [http://www.cgf-ai.com/docs/killzone\\_ai\\_gdc2005\\_slides.pdf](http://www.cgf-ai.com/docs/killzone_ai_gdc2005_slides.pdf)
- [5] **Damian Isla** (2005), "Dude, where's my Warthog? From Pathfinding to General Spatial Competence", <http://www.aiide.org/aiide2005/talks/isla.ppt>

# References for C4 Architecture

- (1) MIT Media Lab Synthetic Characters Group,  
<http://characters.media.mit.edu/>
- (2) R. Burke, D. Isla, M. Downie, Y. Ivanov, B. Blumberg,  
(GDC2001), “CreatureSmarts: The Art and Architecture of a Virtual  
Brain”, <http://characters.media.mit.edu/Papers/gdc01.pdf>
- (3) D. Isla, R. Burke, M. Downie, B. Blumberg (2001)., “A Layered  
Brain Architecture for Synthetic Creatures”,  
<http://characters.media.mit.edu/Papers/ijcai01.pdf>
- (4) D. Isla, B. Blumberg (2002), “Object Persistence for Synthetic  
Characters”, <http://characters.media.mit.edu/Papers/objectPersistence.pdf>
- (5) Movies of Duncan, <http://web.media.mit.edu/~bruce/whatsnew.html>
- (6) Object Persistence for Synthetic Characters. D. Isla, B. Blumberg. In  
the Proceedings of the First International Joint Conference on  
Autonomous Agents and Multiagent Systems,  
AAMAS2002., <http://characters.media.mit.edu/Papers/objectPersistence.pdf>

# Thank you for your attention !



[y\\_miyake@fromsoftware.co.jp](mailto:y_miyake@fromsoftware.co.jp)

<http://www.fromsoftware.jp>

(as a member of IGDA Japan: yoichi-m@pk9.so-net.ne.jp, y.m.4160@gmail.com )

<http://www.igda.jp>