

第3回JRRN河川環境ミニ講座(2009年5月13日)

# 環境流量からみえる アジアの風土性

筑波大学 白川直樹  
(ARRN技術委員)

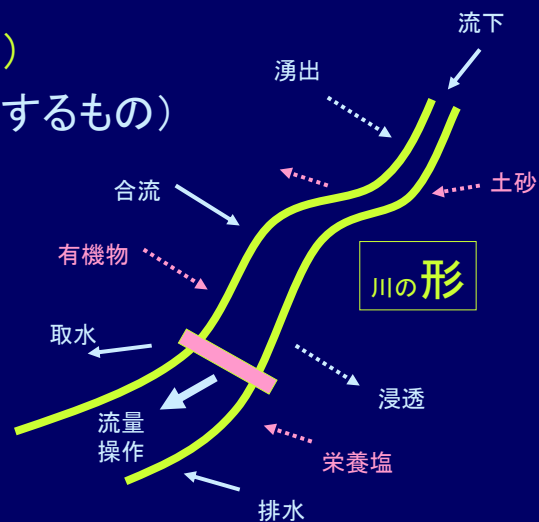
## 概要

1. 河川の自然特性
2. 環境流量
  - 概念
  - 流量要素
  - 設定手法
  - 流況分析の例
3. アジアの風土と文明
  - 風土論
  - 攪乱社会と安定社会

# 1. 河川の自然特性

## 川と人間の関わり

- かたち(いれもの)
- 水と物質(出入りするもの)
  - 水質
  - 水量



## 河川という場の特徴

- 速い

- 物質循環に占める意味
- 強い外力

⇒ 時間

- 一方向

- 相互性の不在
- 高さが大事

⇒ 空間

- 水の存在

- 衝撃を和らげる(力, 温度)
- 生命が依存

## ストレスと攪乱 —河川における—

- ストレス

- 温度変化
- 乾燥, 湿潤
- 流体力
- 栄養塩

- 攪乱

- 洪水(水, 土砂)
- 渇水

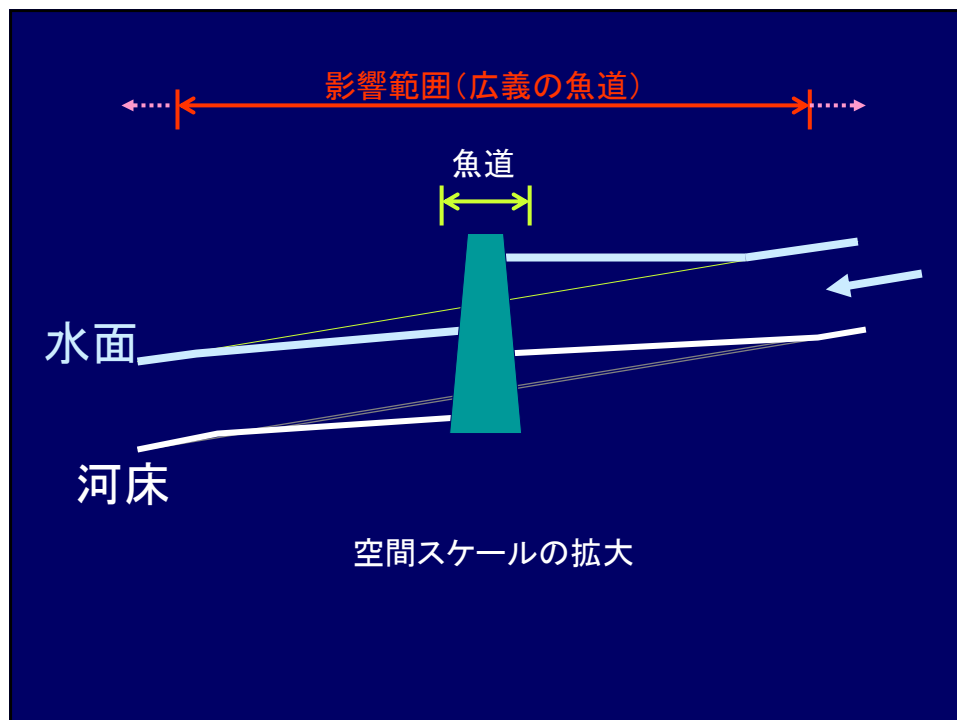
## 河川の自然特性

- 連続性

- 縦断方向(上下流)
- 横断方向
- 時間
  
- 不連続点？

- 多様性

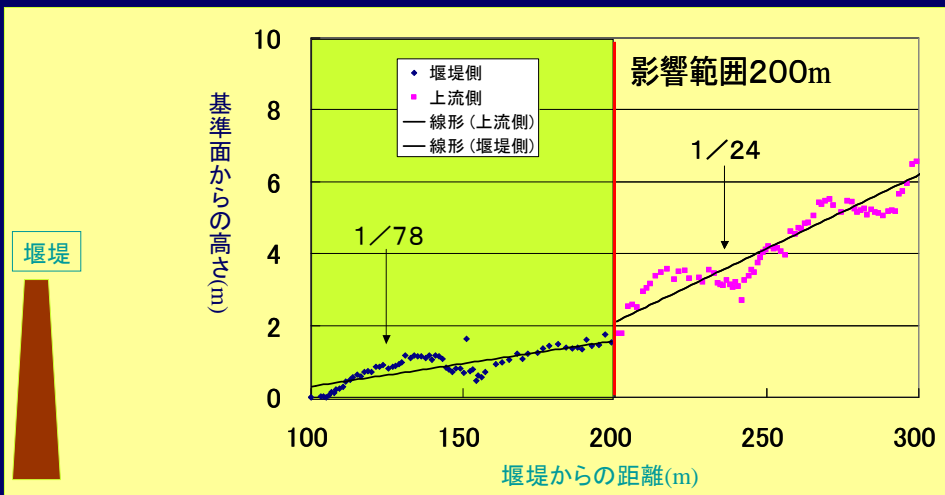
- 流域レベル
- セグメントレベル
- 瀬・淵
- ミクロスケール
- 時間
  
- 不確定性？



## 人工落差と自然の滝



## 落差周辺の縦断勾配



(佐藤・宇都宮・武下・白川, 2006)

## 人工落差と自然の滝

### 人工落差

- 影響範囲が長い
  - 近いほど大きく, 遠いほど小さい(水平に近づく)

### 自然の滝

- 影響範囲が短い
  - 滝つぼ等で吸収?
  - 滝つぼ→滝
- より強い不連続点
  - 連続性を断絶するという積極的な意味

→ 不連続点ならでの, 固有で多様なハビタットも  
(支川合流点など)

## 河川の生物

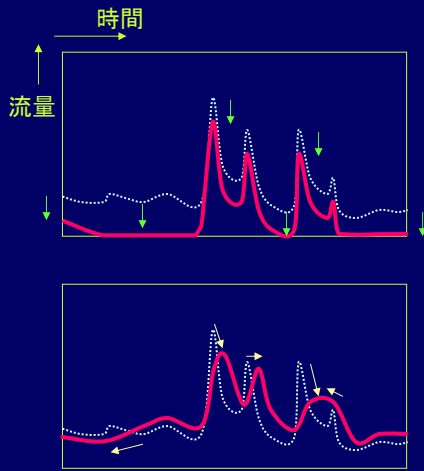
- 多様性
  - 種レベル, 遺伝集団レベル
  - 物理環境の多様性
  - 消極的意味でも多様(排除)
- INとOUTの重要性
  - 小面積ハビタットの可能性?
- 時間軸
  - 時間的(季節的)対応
  - タイミング(予測性)

## 2. 環境流量

### 環境流量とは

- 河川環境の保全・改善を目的とする水使用
  - 河道内流量 (Instream Flow)
  - ダムの下流問題
    - 流量減少 (減水区間)
    - 流況変容 (ダム下流)

## 流況変容の2つの形



減水

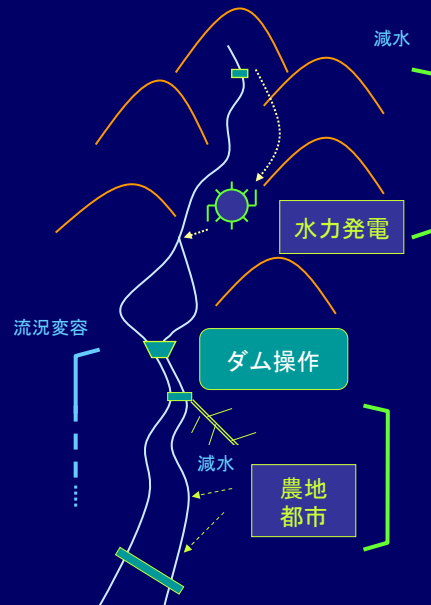
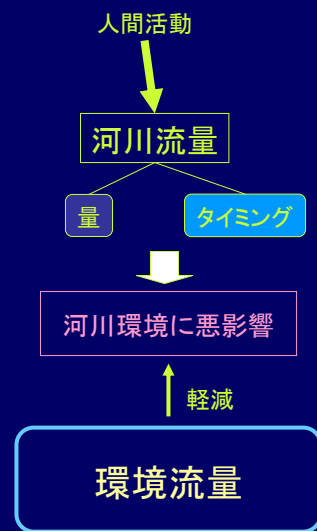
$$\text{観測流量} = \text{自然流量} - \text{取水量}$$

変動変容

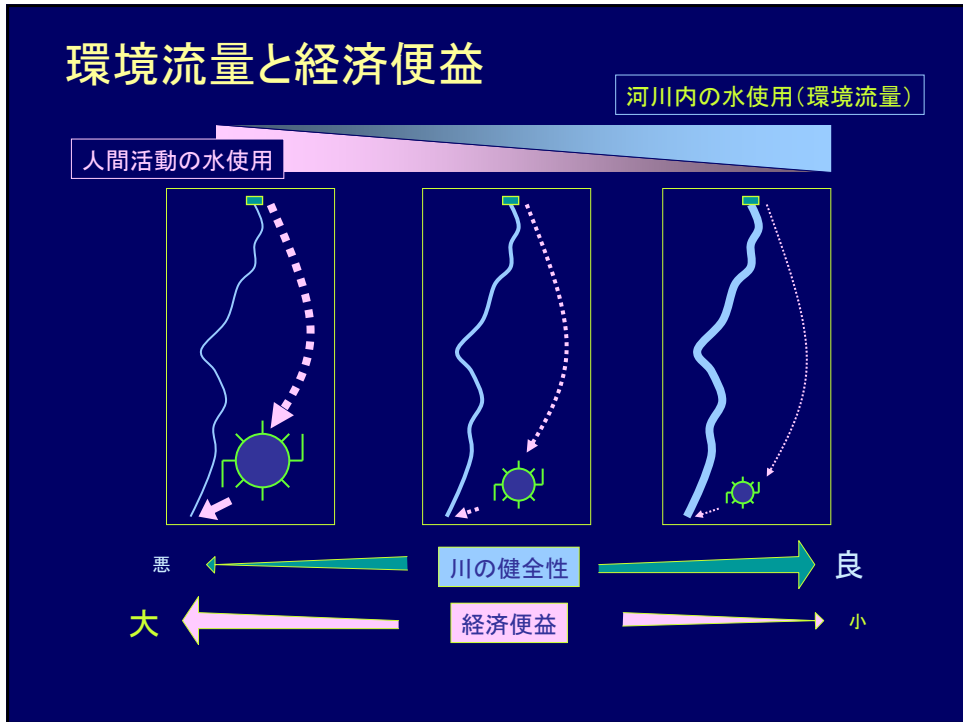
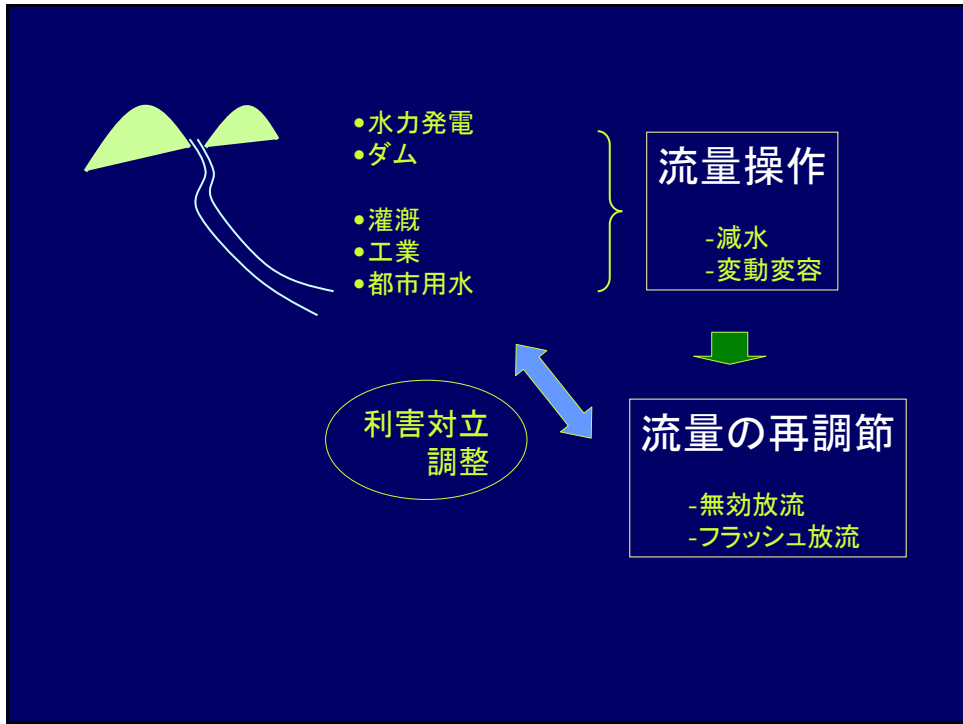
$$\sum \text{観測流量} = \sum \text{自然流量}$$

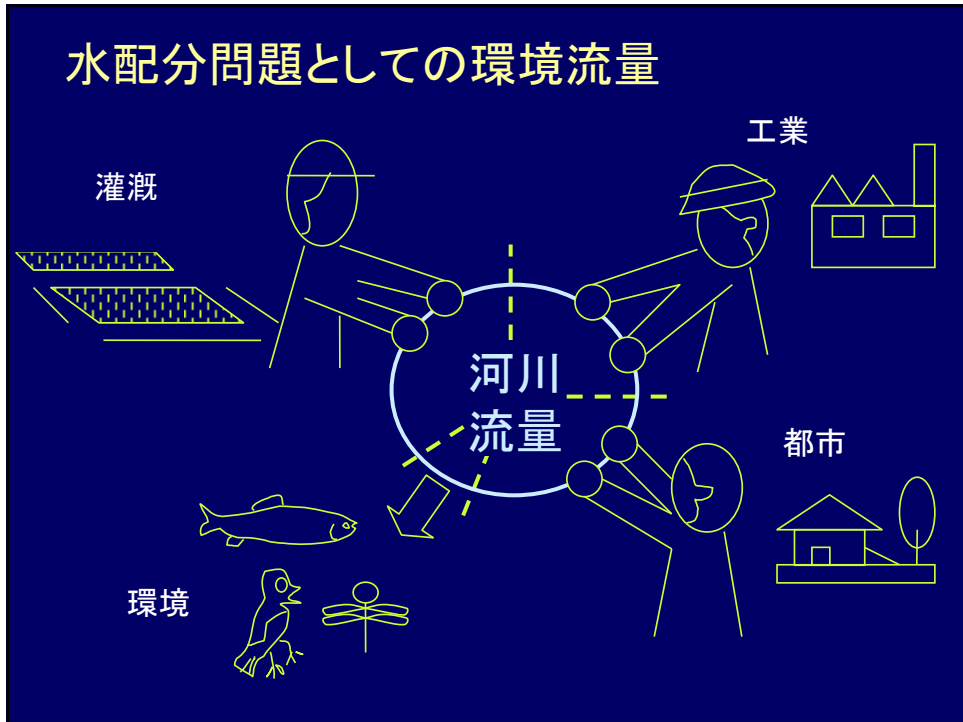
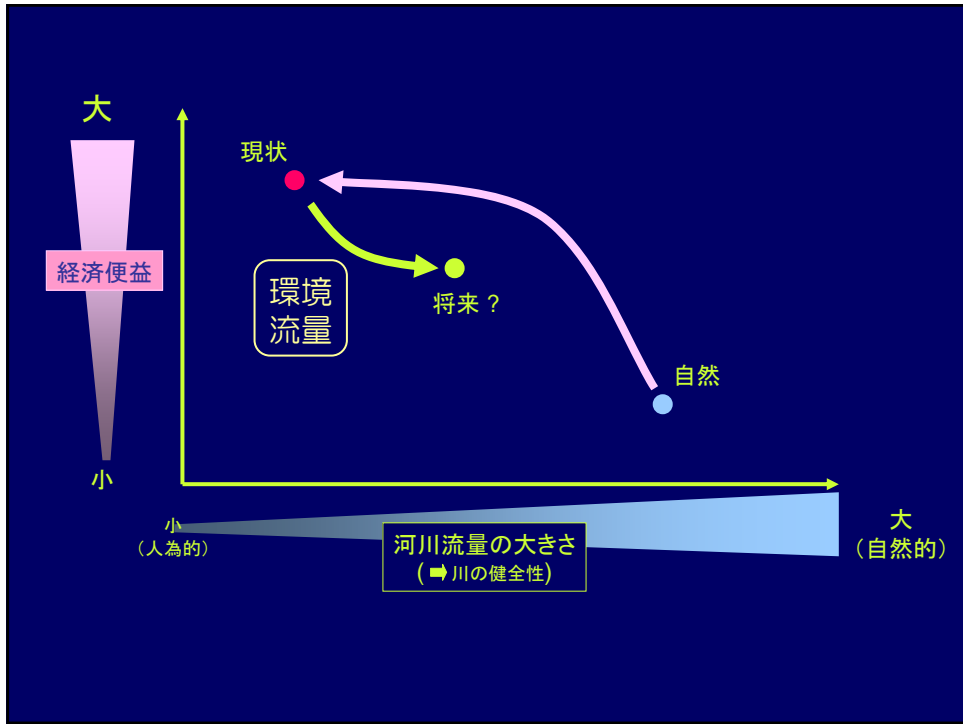


## 環境流量









## 諸外国における環境流量

### • 現況

- 北米 : 米国中西部から, 魚類
- 欧州 : 地質, 地下水水源, 小勾配低地河川(英)  
河川自然環境の総合評価(仏独)  
洪水攪乱(アルプス)  
単純な指標化(スペイン, イタリア)
- 豪州 : 低地大河川 (氾濫原の重要性, 河口閉塞)  
乾燥地 (大きな流量変動の意味, 水陸断絶)
- アフリカ: 野生生物(国立公園)  
貧困層

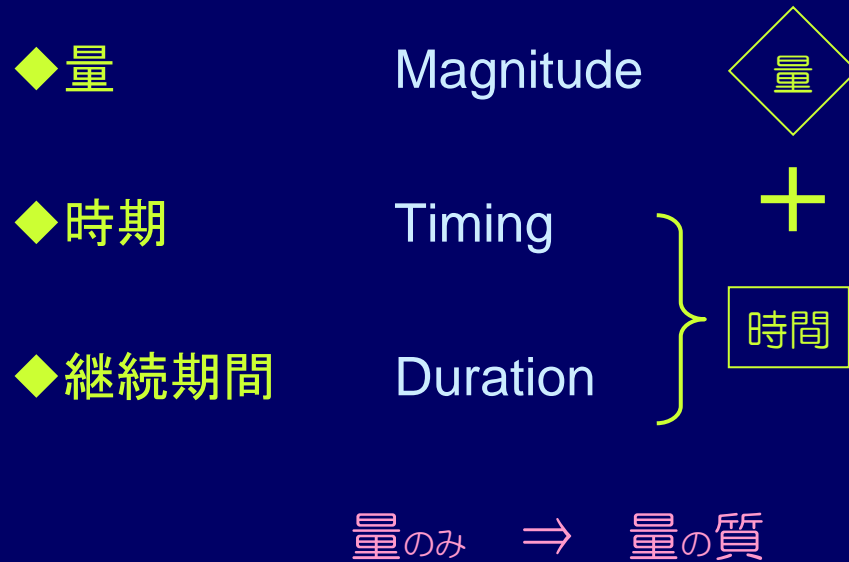
## 諸外国における環境流量

### • 地域特性を生んでいる要因

- 北米 : 魚類関係者の高い関心  
水に対する権利意識
- 欧州 : 下流利水量確保の伝統  
Water Framework Directive  
地形, 地質
- 豪州 : 地理条件, 気候条件  
人口密度, 大規模自然改変
- アフリカ: 自然環境  
経済状況

文化  
気候  
経済  
国際的枠組  
地理  
...

## 環境流量の三要素



## 環境流量の機能

### 1. 河川地形のダイナミクス

河道維持流量 *Channel Maintenance Flow*

### 2. 生物の生息基盤

生態系維持流量 *Habitat Maintenance Flow*

### 3. 人間活動の持続

人間環境保全流量

・・・メカニズム

## 環境流量の機能

### 1. 河川地形のダイナミクス

河道維持流量 *Channel Maintenance Flow*

### 2. 生物の生息基盤

生態系維持流量 *Habitat Maintenance Flow*

### 3. 人間活動の持続

人間環境保全流量

・・・メカニズム

洪水

中小出水

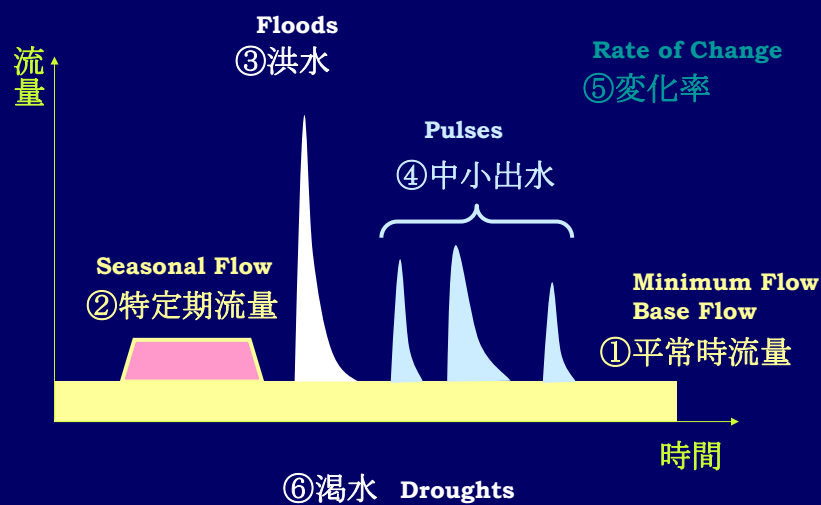
変化率

渇水

特定期流量

平常時流量

## 流況変容 という視点



発電による減水区間



自然流量区間



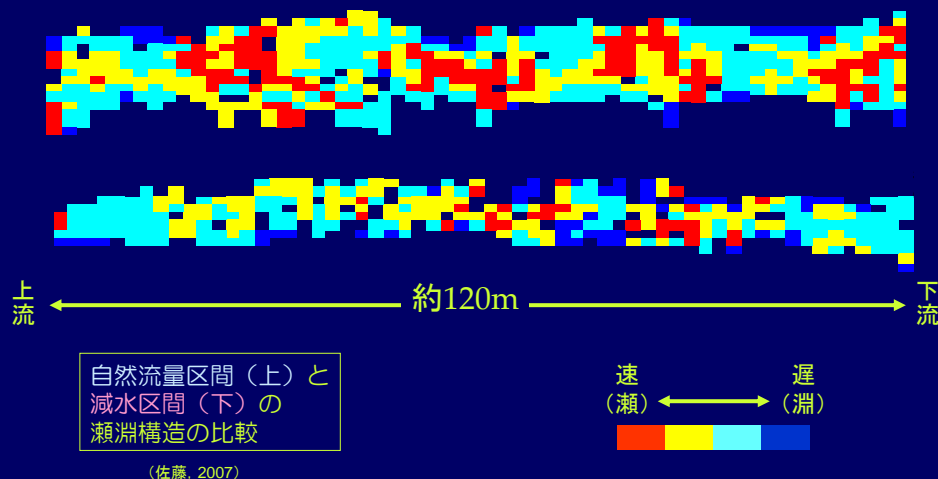
・・・同じく言葉に窮するのは、ダムの下にあるいわゆる減水区間の様相だ。すなわち、減水区間を見るとき誰もがすぐに気になる、あの「何かアンバランスな」感じについてである。この「感じ」が、流量と底質ないし「河相」とのあいだの関係に、かなり関連があることはすぐに判ること。しかしこれが、日本列島の河川の多くに見られるような、流量変化が大きいために、流量と底質とのあいだに一致を欠きやすいのとは、いささかならず異なるのである。・・・だがこれを的確に表現することは、極めて難しい。いやご覧のように、私にはまだ出来ていない。

(川那部浩哉, 1996)

## 減水区間の『アンバランス』さ



## 減水区間の物理特性 (一例)



自然流量区間では、瀬と淵は  
周期的に(ほぼ一定間隔で)現れた

- ➡ 減水区間では
- × 瀬淵間隔が不揃い
  - × 瀬淵間隔が狭い
  - × 瀬と淵が不明瞭

小さい空間単位での多様性



## 減水区間の物理特性

- 水面幅の縮小
  - 川幅は影響なし
- 瀬淵構造の変容
  - 周期性の喪失, 不明瞭化, 細分化
- 河床材料の分布の変化
  - 砂の存在パターン
  - 上流端での堰き止めが原因?
- 上流端および下流端での不連続性
  - 流量急変...合流点(自然)に類似?

空間スケール

連続性

### 減水区間における不連続点

- △ 上流端のせき止め
- △ 上流端の取水(流量急減)
- ▽ 下流端の放水(流量急増)

➡ 自然界における急変点

不連続 にも積極的な意味?

# 環境流量の設定手法

諸外国で多く用いられている環境流量設定法

- |           |                      |
|-----------|----------------------|
| ① 水文統計法   | Hydrological Indices |
| ② 水理指標法   | Hydraulic Rating     |
| ③ 生息場モデル法 | Habitat Modeling     |
| ④ 合意形成法   | Holistic Approach    |

## 具体的な設定手法

### ① 水文統計法

- Tennant Method
- Flow Duration Curve Analysis (Q95 Method)
- September Median Flow Method
- Texas Method
- Annual Minima Method
- Basic Flow Method
- Range of Variability Approach

### ② 水理指標法

- Wetted Perimeter Method

### ③ 生息場モデル法

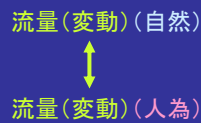
- Oregon Usable Width Method
- U.S. Forest Service R-6 Method
- Multiple Transect Analysis
- Instream Flow Incremental Methodology (PHABSIM)
- River Hydraulics and Habitat Simulation Program
- Computer Aided Simulation Model for Instream Flow Requirements
- River System Simulator
- Riverine Community Habitat Assessment and Restoration Concept
- Evaluation of Habitat Method
- HABIOSIM
- Geomorphological-biotope Assessment

### ④ 合意形成法

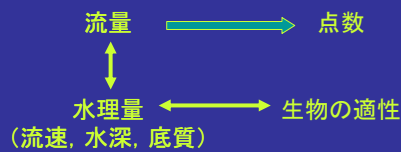
- Building Block Methodology
- Holistic Approach
- Downstream Response to Imposed Flow Transformations Methodology
- Expert Panel Assessment Method
- Scientific Panel Assessment Method
- Habitat Analysis Method
- Water Allocation Management Planning Benchmarking Procedure
- Flow Restoration Methodology
- River Babingley Method (River Wissey Method)
- Flow Management Plan
- Flow-Stress Response Method

## 各設定法の簡単な説明

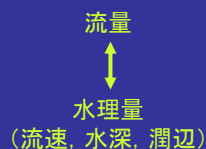
### ① 水文統計法



### ③ 生息場モデル法



### ② 水理指標法



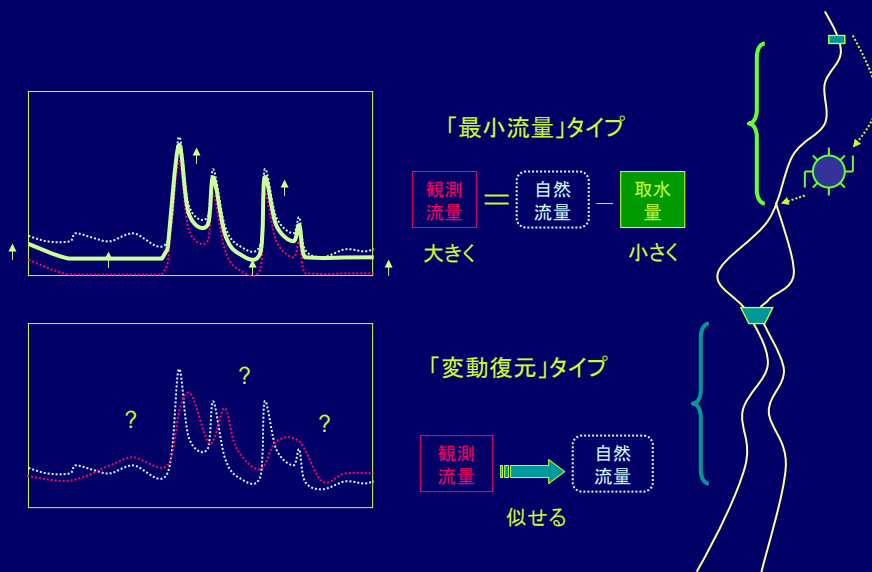
### ④ 合意形成法



## 水文統計指標について

- 生息場モデルが最も精緻だが・・・
  - 複雑, 投入資源量, 精度, ...
- 流量指標にしておけば,
  - 扱いやすい (管理者側, 流量操作者側)
  - 理解が容易 (利害関係者側)
- 単一指標では不十分 ... 地域性, 時間変動
  - 流域面積当たり (現行) :  $0.3\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$
  - 年平均流量との比 (Tennant Method)
  - 最小流量 (100%超過), Q90, Q95, Q97
  - 年々変動 (渇水年と豊水年, リターンピリオド)

## 環境流量の2つの形



## 前提

- 自然流況(流量変動)が最善である
  - “Hydrograph mimicking”
- 特定の流量要素が他の要素より重要である
  - 線形関係ではない
  - 「大事な要素」と「大事なでない要素」がある

## 流量要素 — 自然流況 —

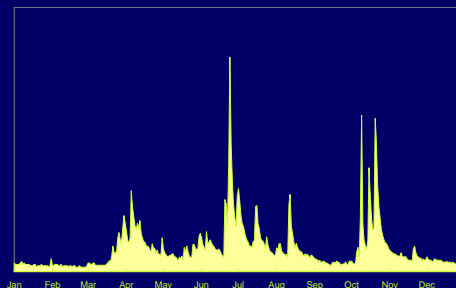
### 量に関して

- 1) 基底流量
- 2) 大洪水
- 3) 中小洪水(攪乱)
- 4) 濁水

### タイミングに関して

- 1) 季節性
- 2) 日々の変動
- 3) 変化率
- 4) 年々変動

自然流況のハイドログラフ例



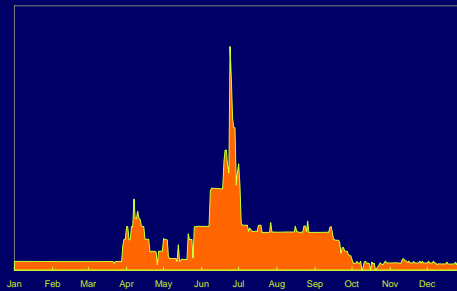
# 流量要素 —人為流況—

取水によって

水力発電, 農業用水, 都市用水

- 1) 基底流量の減少
- 2) 大洪水
- 3) 中小洪水(攪乱)の減少
- 4) 濁水の激化

人為流況のハイドログラフ例



放流操作によって

ダム, 堰

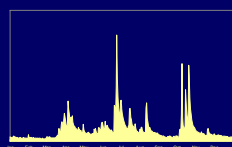
- 1) 不明瞭な季節性
- 2) 日々の変動の消失
- 3) 変化率の増大
- 4) 年々変動の平滑化

# 流況分析の例

## RVA (Range of Variability Approach)

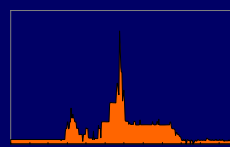
(Richter et al., 1996)

比較 (20年以上)



自然流況

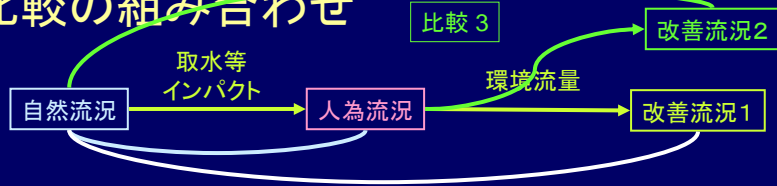
- 32 指標
- (12 月平均)
  - (10 極値)
  - (2 極値のタイミング)
  - (4 攪乱頻度)
  - (4 小変化)



人為流況

増減  
---洪水, 攪乱, 基底流量  
平滑化/激化  
---日単位, 年単位

## 比較の組み合わせ



	Ave.	S.D.
A	8.2	2.4
B	9.2	3.3
C	9.9	2.5
	⋮	

比較 1	
	変化
A	×
B	△
C	○
	⋮

	Ave.
A	5.3
B	6.0
C	9.2
	⋮

比較 2	
	変化
A	△
B	×
C	○
	⋮

	Ave.
A	7.3
B	5.1
C	8.2
	⋮

どの指標が改善？

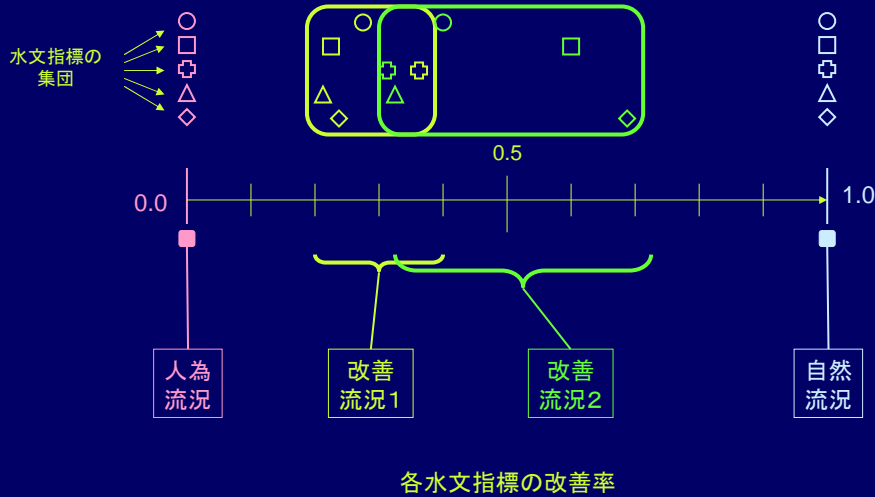
↓

次の目標を設定

変化	
	変化
A	△
B	×
C	○
	⋮

	Ave.
A	7.2
B	5.8
C	8.1
	⋮

## 複数指標の総合評価



# 計算例(北上川)



湯田ダム



田瀬ダム



湯田ダム



鳴子ダム

# 計算例(北上川)

		四十四田	田瀬	湯田	鳴子
量	1月平均値		○ △ △ ▽	△ ▽ ▽	▽
	2月平均値		○ △ ▽ ▽	△ ▽ ▽	▽
	3月平均値		○ △ ▽ ▽	△ ▽ ▽	▽
	4月平均値		● ▲ ▲ ▽	▲ ▽ ▽	● ▲ ▽ ▽
	5月平均値		○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	△ ▽ ▽
	6月平均値	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	△ ▽ ▽
	7月平均値				△ ▽ ▽
	8月平均値				△ ▽ ▽
	9月平均値				△ ▽ ▽
	10月平均値		▽	▽	▽
	11月平均値			▽	▽
	12月平均値			▽	▽
極値の量	1日間最小値	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▽ ▽	● ▲ ▽ ▽
	3日間最小値	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▽ ▽	● ▲ ▽ ▽
	7日間最小値	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▽ ▽	● ▲ ▽ ▽
	30日間最小値	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▽ ▽	● ▲ ▽ ▽
	90日間最小値	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▲ ▽	● ▲ ▽ ▽	● ▲ ▽ ▽
	1日間最大値		▽	▲	▲
	3日間最大値		▽	▲	▲
	7日間最大値		▽	▲	▲
	30日間最大値		▽	▲	▲
90日間最大値		▽	▲	▲	
極値の時期	最小値生起日	△ ▽ ▽	△ ▽ ▽	△ ▽ ▽	△ ▽ ▽
	最大値生起日	△ ▽ ▽	△ ▽ ▽	△ ▽ ▽	△ ▽ ▽
中規模変動	落水回数	△ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽
	出水回数	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽
	落水継続期間	△ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽
	出水継続期間	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽
小変化	平均減少速度	△ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽
	平均増加速度	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽
	増減回数	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽
	減少日数	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽
	増加日数	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽	○ △ ▽ ▽

赤: 増大  
青: 減少

← 4月の流量減少

← 6月の流量増大

← 低水が減少傾向

← 洪水には変化傾向なし

← 鳴子で攪乱減少  
田瀬では攪乱増大

← 小変化は激化

← 減少は減, 増加は増

(白川・玉井, 2003)



## 北上川4ダムでは何が起きているか？

### 変化がみられる指標（地点数）

	増大	減少	激化	安定化
量	1月(2) 2月(2) 6月(4)	4月(3) 10月(2)		
極値の量		1d-Min(3) 3d-Min(3) 7d-Min(2) 1d-Max(1)	7d-Min(1)	
タイミング			Min-Date(2)	Max-Date(2)
中規模変動	出水回数(1) 渇水回数(3) 出水期間(3) 渇水期間(1)	出水回数(2) 渇水回数(1) 渇水期間(2)		
小変化	増減回数(4) 増加日数(3)	増加速度(2) 減少速度(1) 減少日数(4)		

## 分析結果の解釈

	増大	減少	激化	安定化
量	1月(2) 2月(2) 6月(4) <b>放流操作</b>	4月(3) 10月(2) <b>貯水操作</b>		
極値の量		1d-Min(3) 3d-Min(3) 7d-Min(2) 1d-Max(1) <b>渇水量減少 (貯水操作)</b>	7d-Min(1) <b>夏渇水軽減 ⇒2月・10月</b>	台風調節 ⇒春ピーク残 <b>融雪貯水 ⇒秋ピーク残</b>
タイミング			Min-Date(2)	Max-Date(2)
中規模変動	出水・渇水ともに回数増加 ⇒ 変動激化 (田瀬) 出水・渇水ともに回数減少 ⇒ 変動安定化 (鳴子) 出水回数減少, 渇水増加 ⇒ 性質変容 (湯田)			
小変化	増減回数(4) 増加日数(3)	増加速度(2) 減少速度(1) 減少日数(4)	<b>地域性</b> ・人為的な流量増加 ・出水後流量逡減のカット ・小変化の激化	

## 改善案の検討

### 2つの代替案の比較

#### (環境流量1)

1~3月の放流量を  
1.0m<sup>3</sup>/s節約し、  
4月に放流増

#### (環境流量2)

(1)に加え  
最小流量1.0m<sup>3</sup>/s  
+ α

○ : 改善

○ : 悪化

	Environmental flow (1)				Environmental flow (2)			
	Ave	SD	High	Low A.Rate	Ave	SD	High	Low A.Rate
<b>1. Monthly</b>								
January	7.25	2.44	11.8	4.4	7.65	2.29	5	6 54%
February	8.18	3.31	11.1	5.4	7.98	3.03	6	1 71%
March	8.95	2.51	11.1	6.7	9.90	2.50	2	6 67%
April	11.33	5.22	12	5.0	22.65	5.30	14	42%
May	11.82	6.66	5	7.9	21.95	6.65	5	0 79%
June	11.82	5.04	2	6.3	15.52	4.61	2	0 63%
July	16.24	5.95	1	8.8	16.26	5.95	1	1 88%
August	16.88	7.73	6	3 6.3	17.06	7.59	6	3 63%
September	12.69	5.26	4	5 6.3	12.76	5.26	4	5 63%
October	10.02	3.39	4	5 6.3	10.19	3.38	4	4 67%
November	10.15	3.73	2	11 4.6	10.77	3.59	3	2 52%
December	9.48	3.15	3	11 4.2	9.75	3.06	3	2 52%
<b>2. Max/Min</b>								
1-d min	1.90	1.66	3	17 1.7	1.36	1.36	3	16 21%
3-d min	1.90	1.71	1	16 2.1	1.56	1.56	1	12 38%
7-d min	1.90	1.6	1	13 3.3	1.8	1.8	1	11 29%
30-d min	4.85	1.40	1	8 4.6	5.32	1.20	1	4 58%
90-d min	7.27	1.40	1	7 7.1	7.75	1.36	3	4 75%
1-d max	105.01	41.61	1	6 6.3	104.43	41.76	2	0 63%
3-d max	70.30	23.28	1	8 6.7	69.62	23.66	1	1 67%
7-d max	48.08	13.81	3	8 5.4	48.37	14.06	2	8 58%
30-d max	30.90	7.07	1	6 6.3	30.14	7.09	1	0 67%
90-d max	22.03	4.42	1	4 7.5	21.66	4.30	4	1 71%
<b>3. Timings</b>								
Min date	134.92	131.6	1	6 4.6	141.88	128.5	4	4 64%
Max date	163.17	58.37	1	6 7.1	163.17	58.37	1	6 71%
<b>4. Pulses</b>								
Low count	11.57	5.33	1	10 5.1	11.57	6.8	1	11 66%
High count	13.21	4.16	1	14 4.2	13.21	4.56	1	11 64%
Low dura.	10.00	6.23	1	3 4.2	10.00	5.40	1	4 4%
High dura.	9.32	2.80	1	1 3.3	8.46	2.60	1	0 17%
<b>5. Changes</b>								
Fall rate	2.77	1.01	3	13 3.3	2.72	0.99	3	14 29%
Rise rate	3.16	1.08	0	20 1.7	3.14	1.07	0	20 17%
F/R count	103.00	15.65	1	1 2.1	102.67	16.49	1	0 33%
Fall days	16.66	31.95	0	1 0.8	16.66	34.06	0	0 0%
Rise days	142.86	14.91	1	1 3.3	143.16	15.6	1	1 29%

## 3. アジアの風土と文明

人間は**安定**を欲する

(…予見容易性…対応コスト小)

(理解が容易…理解コスト小)



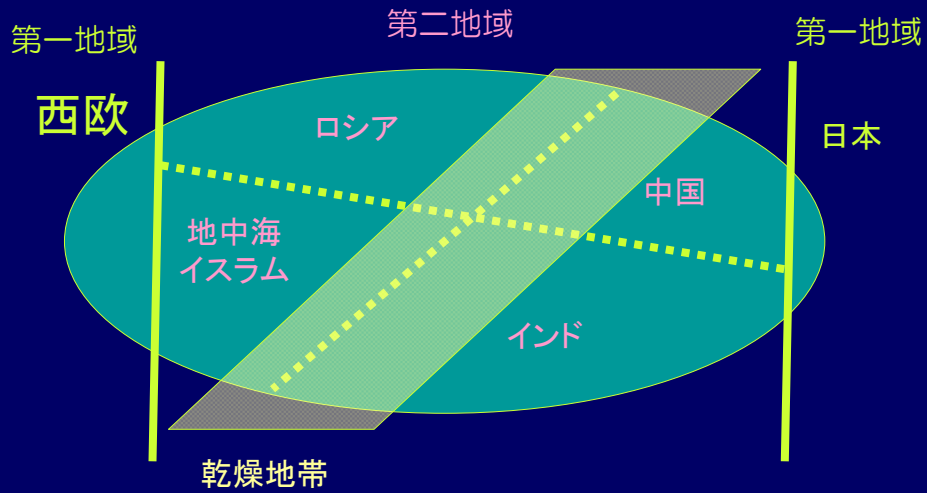
自然界には**攪乱**がある

(…攪乱に頼る生物 ⇒ 多様性)

## いくつかの風土論

- 和辻哲郎 『風土』 1935
  - モンスーン, 沙漠, 牧場 の3類型
- 梅棹忠夫 『文明の生態史観』 1957
  - 第一地域(日本と西欧), 第二地域(準乾燥地帯)
- 飯沼二郎 『風土と歴史』 1970
  - 保水農業, 除草農業
  
- 安田喜憲 : 夏雨文明, 冬雨文明
- 虫明功臣 : Too much water, Too little water

# 『文明の生態史観』 梅棹忠夫

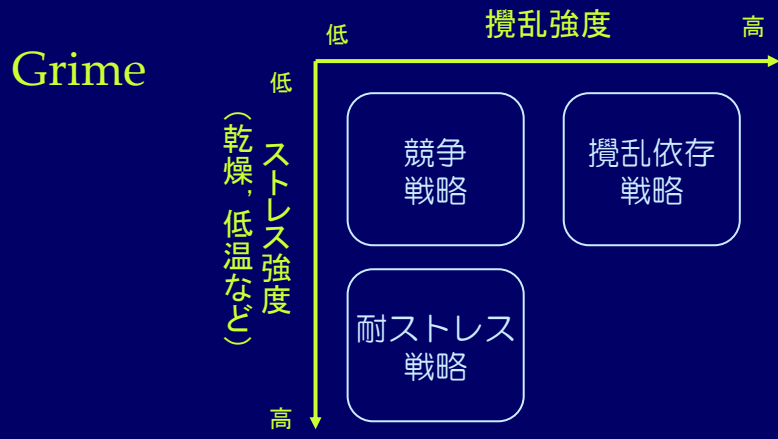


# 農業からみた風土分類 (飯沼二郎)

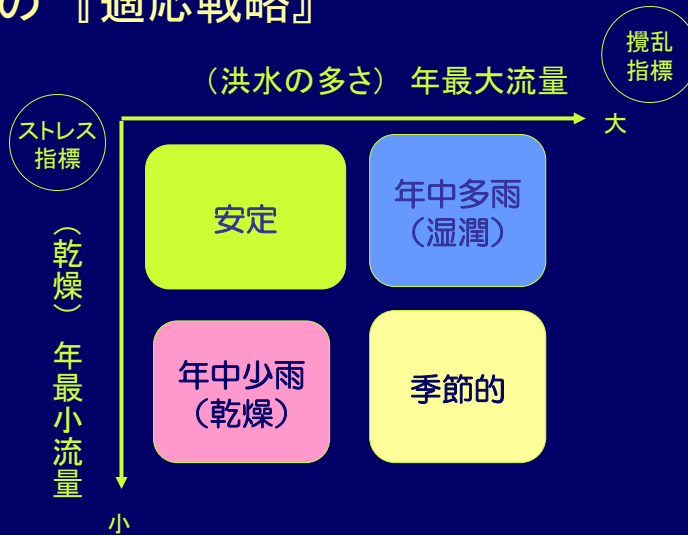
$$\text{マルトンヌの乾燥指数 } I = \frac{\text{総降水量 (mm)}}{\text{平均気温 (°C)} + 10}$$

	乾燥 (年 I < 20)	湿潤 (年 I > 20)
夏作可能 (6-8月 I > 5)	中耕保水 (パンジャブ, 華北)	中耕除草 (東南アジア, 東アジア)
夏作不可 (6-8月 I < 5)	休閑保水 (西アジア, 北アフリカ)	休閑除草 (南欧, ソ連南部)

# 植物の適応戦略

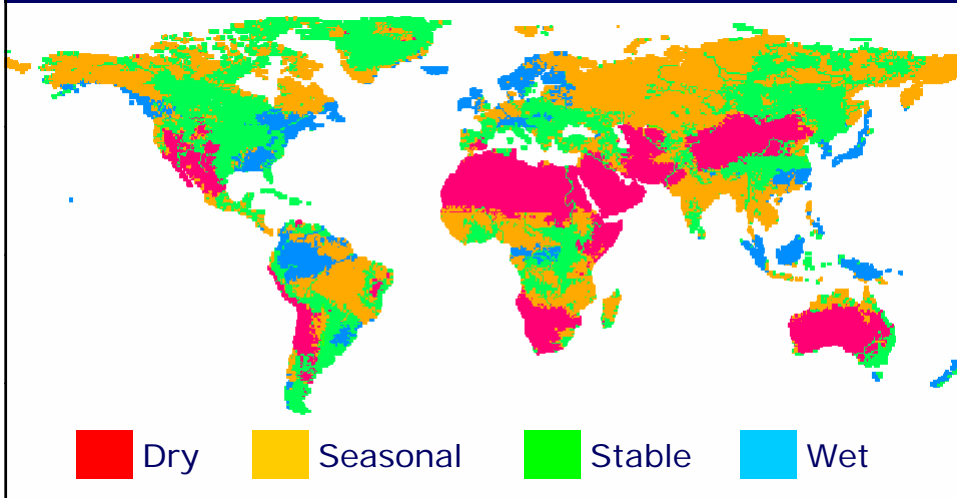
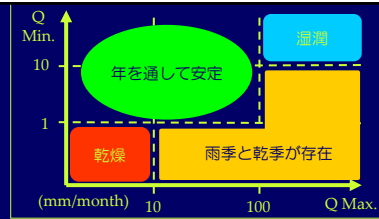


# 人類の『適応戦略』



# 世界の気候分類

(白川, 2005)



古代四大文明の地域

⇒ **乾燥**の中の**安定**

(残存条件)

乾燥により排除される競争相手

➡ **耐ストレス戦略**

+ 知恵(技術), 移動(輸送)能力

アジアモンスーン地域

湿潤 (+高温) かつ 攪乱

(地文条件)

生産力の高い競争相手

→ 攪乱依存戦略

+ 知恵(技術), 移動(輸送)能力

(乾燥)

安定型  
社会

耐ストレス戦略

競争戦略

個々の強化

→ ヒマ人社会

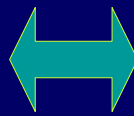
(湿潤)

攪乱型  
社会

攪乱依存戦略

数と多様性

→ 分業社会



## 安定型社会では

安定した条件に**適応**した方が有利  
⇒ **一次元**評価軸上で**効率化**競争

環境状態の**持続**を**長期的**に**予見**  
⇒ 環境の**安定化**を図る

**耐ストレス**＋**競争戦略**

## 攪乱型社会では

単純な競争には**エネルギー**を要する  
⇒ **攪乱**を利用して**競争相手**を**排除**

**攪乱**による**全滅**を防ぐ  
⇒ **短期的**には**損**でも**多様性**を**確保**

**攪乱依存**戦略



## 風土論からみたアジアモンスーン域

- 高温多湿という条件
  - すべての生き物に有利 … 競争にエネルギー
  - 高い一次生産量 … 改変からの回復力
- 変動帯（地質構造）
  - 変化の速さ, 土砂輸送によるつながり
- 攪乱の予測性が低い(≒突発的)と
  - 同期化や画一化は不利
  - 多様性により全滅を防ぐ

## アジアの特徴を踏まえた河川再生に向けて

