

【気候変動適応全国大会（富山）】

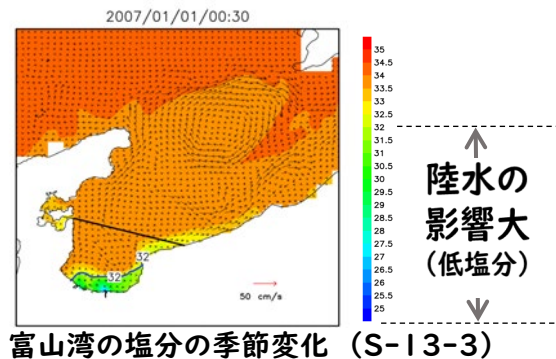
# 気候変動による富山県の水・栄養塩循環への 影響評価と適応策の検討

張 勁（富山大学・学術研究部理学系）

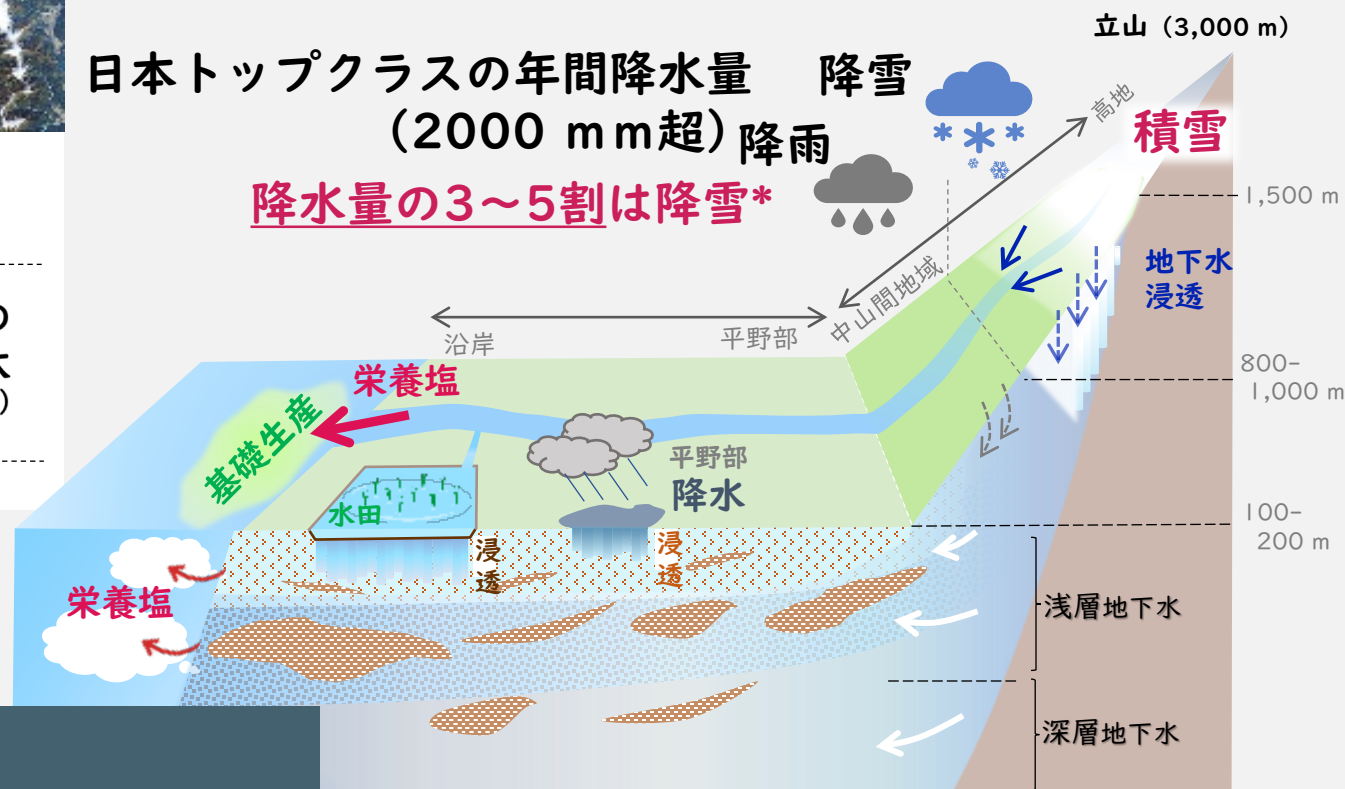
令和3～5年度環境研究総合推進費

主：【重点課題⑧】 気候変動への適応に係る研究・技術開発

行政ニーズ：（2-2）地域特性に応じた気候変動影響予測及び適応の推進に関する研究



日本トップクラスの年間降水量 (2000 mm超) 降雪  
降水量の3~5割は降雪\*



陸水起源の栄養塩

2~4割 沿岸海域の基礎生産に寄与!

# 気候変動に伴い激変する富山県の水循環

## 1. 研究背景

豊かな水資源が生み出す水・栄養塩循環

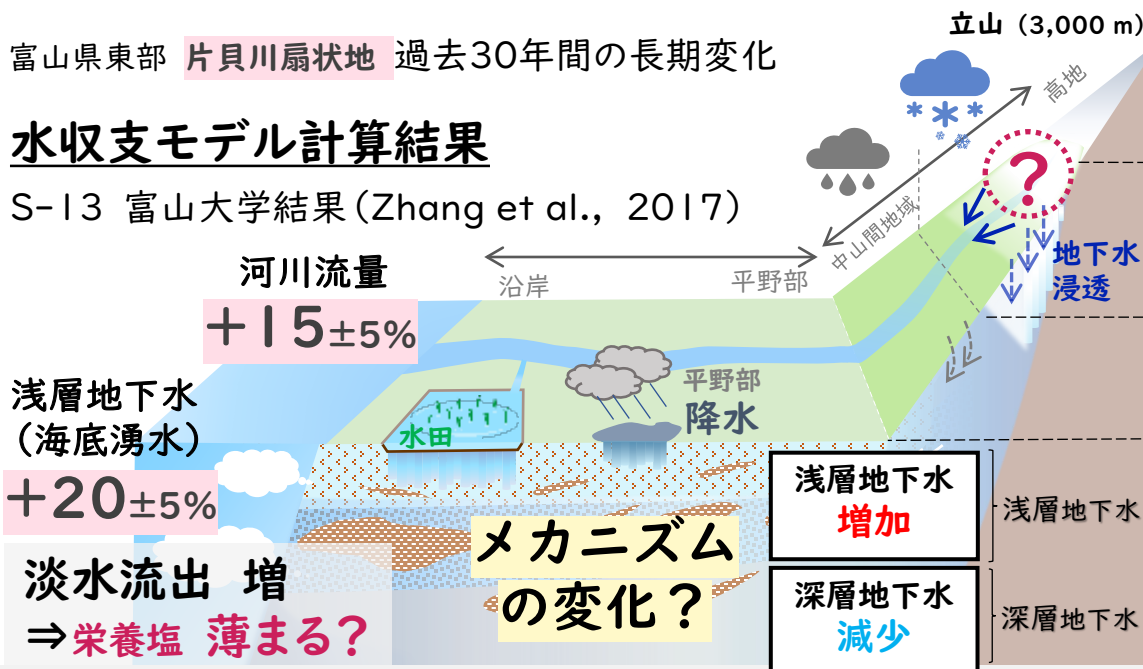
気候変動

- ◆ 少雪・多雨化
- ◆ 顕著な気温上昇

富山県東部 片貝川扇状地 過去30年間の長期変化

### 水収支モデル計算結果

S-13 富山大学結果 (Zhang et al., 2017)



富山全域: 少雪・多雨化に伴う陸水の  
栄養塩動態の把握 喫緊の課題

### 富山県の気候の長期変化

図1

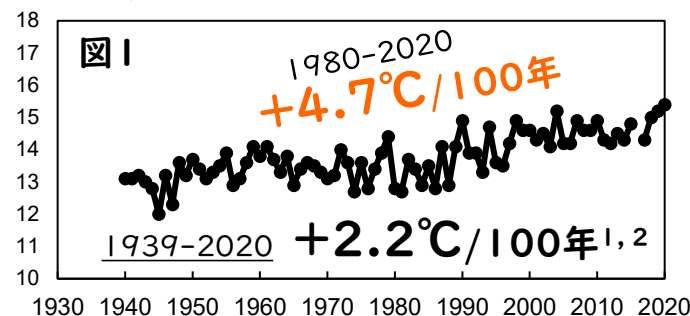
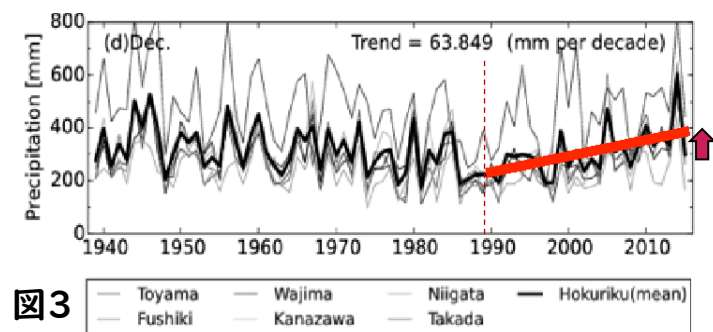
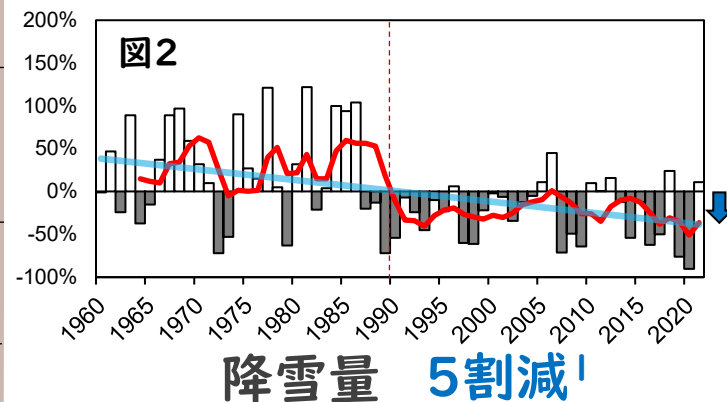


図2



## 2. 研究開発目的・研究開発内容

気候変動

栄養塩供給の管理

↑  
科学的根拠

研究開発目的:

気候変動に適応した持続的な水・栄養塩循環システムの保全に向けた管理方策の提案

サブテーマ 1  
少雪・多雨化に適応  
する持続的な水循環  
管理方法の提案



サブテーマ 2  
水循環メカニズム解明のための  
富山県陸海統合モデルの開発  
将来予測及び適応策の検証



全体目標: 気候変動による富山県の水・栄養塩循環への影響評価と適応策の提案

研究開発内容:

### 1. 水・栄養塩循環メカニズムの解明

- 現場観測+歴史的環境モニタリングデータ解析
- 富山県自然・社会環境GISの構築
- モデルの検証・再現⇒陸海統合モデルの構築

### 2. 気候変動の影響解析及び影響要因の抽出と将来予測

### 3. 持続的な水・栄養塩循環の管理方法・適応策の提案

# 各扇状地の陸から海への水動態の違い

集水域標高 1000-2000m

集水域標高  
700m

**県東部**

黒部川  
扇状地

片貝川  
扇状地

海底湧水 富山湾

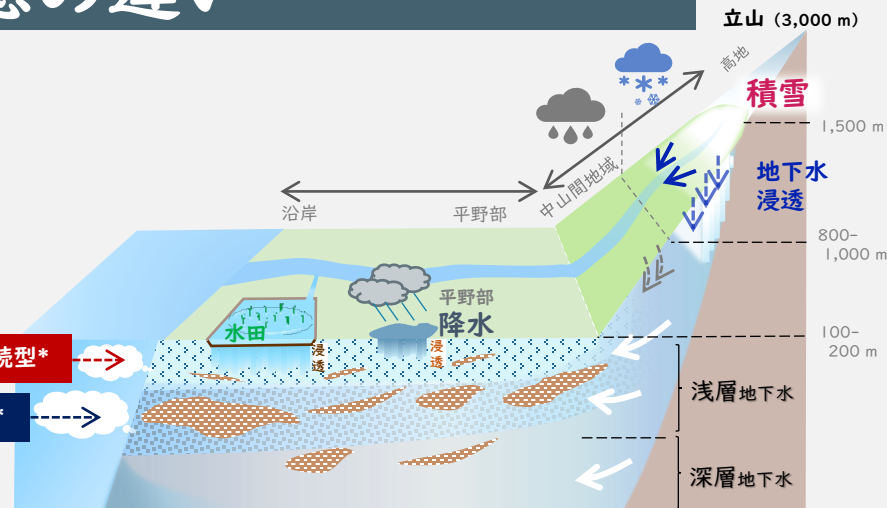
**県西部**

庄川扇状地

調査実施地域 概要図

表層地下水接続型\*

旧河道接続型\*



## 3つの扇状地の河川縦断勾配・パターン化

▲平野部（農地・市街地）

← 県東部（海底湧水あり） →

← 県西部（海底湧水なし） →

旧河道  
接続型\*

水田からの浸透の  
影響なし

片貝川  
扇状地

表層地下水  
接続型\*

水田からの浸透の  
影響あり

黒部川  
扇状地

表層地下水  
接続型\*

庄川

庄川  
扇状地

小矢部川

標高  
約200m

河川下流  
河口付近

水・栄養塩循環への影響（仮説）

勾配：急、平野部：少

気候変動の影響  
(少雪・多雨化)

勾配：緩、平野部：多

人為的影響

\*中ロ・張ら(2005)の化学データより本研究課題で定義

1 水・栄養塩循環  
メカニズムの解明

2

気候変動の影響解析及び  
影響要因の抽出と将来予測

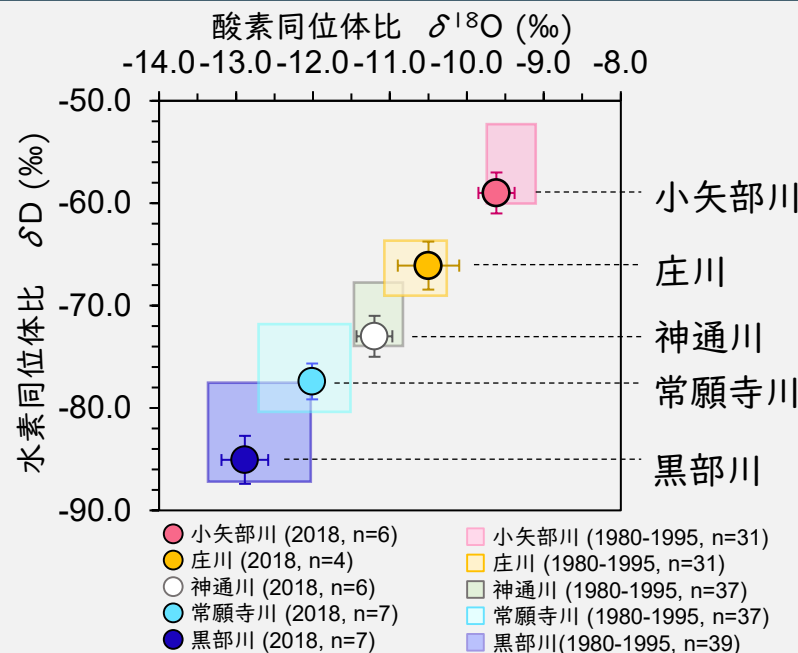
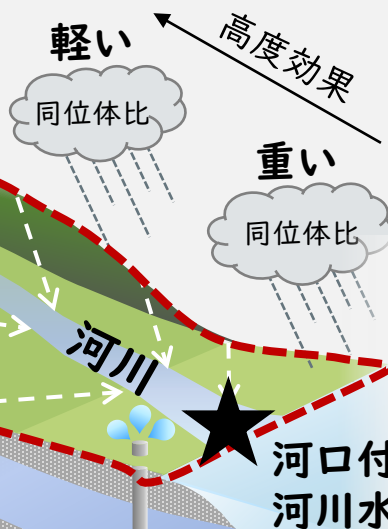
3

適応策の提案



水 H<sub>2</sub>Oの「DNA」  
水素・酸素安定同位体比

河川集水域



2021年度  
解析結果

同位体比から  
算出した  
涵養標高(m)

地図上における  
河川集水域の  
平均高度(m)  
水谷・佐竹 (1997)

|                 |                      |           |          |
|-----------------|----------------------|-----------|----------|
| 県東部<br>(海底湧水あり) | 片貝川扇状地               | 933~1274  | 990      |
|                 | 黒部川扇状地               | 1566~2013 | 1570     |
| 県西部<br>(海底湧水なし) | 庄川扇状地<br>※庄川・小矢部川で形成 | 183~994   | 260~1020 |

$$\delta\text{D} = -(0.0193 \pm 0.017)h - (4.84 \pm 2.3) \quad (1)$$

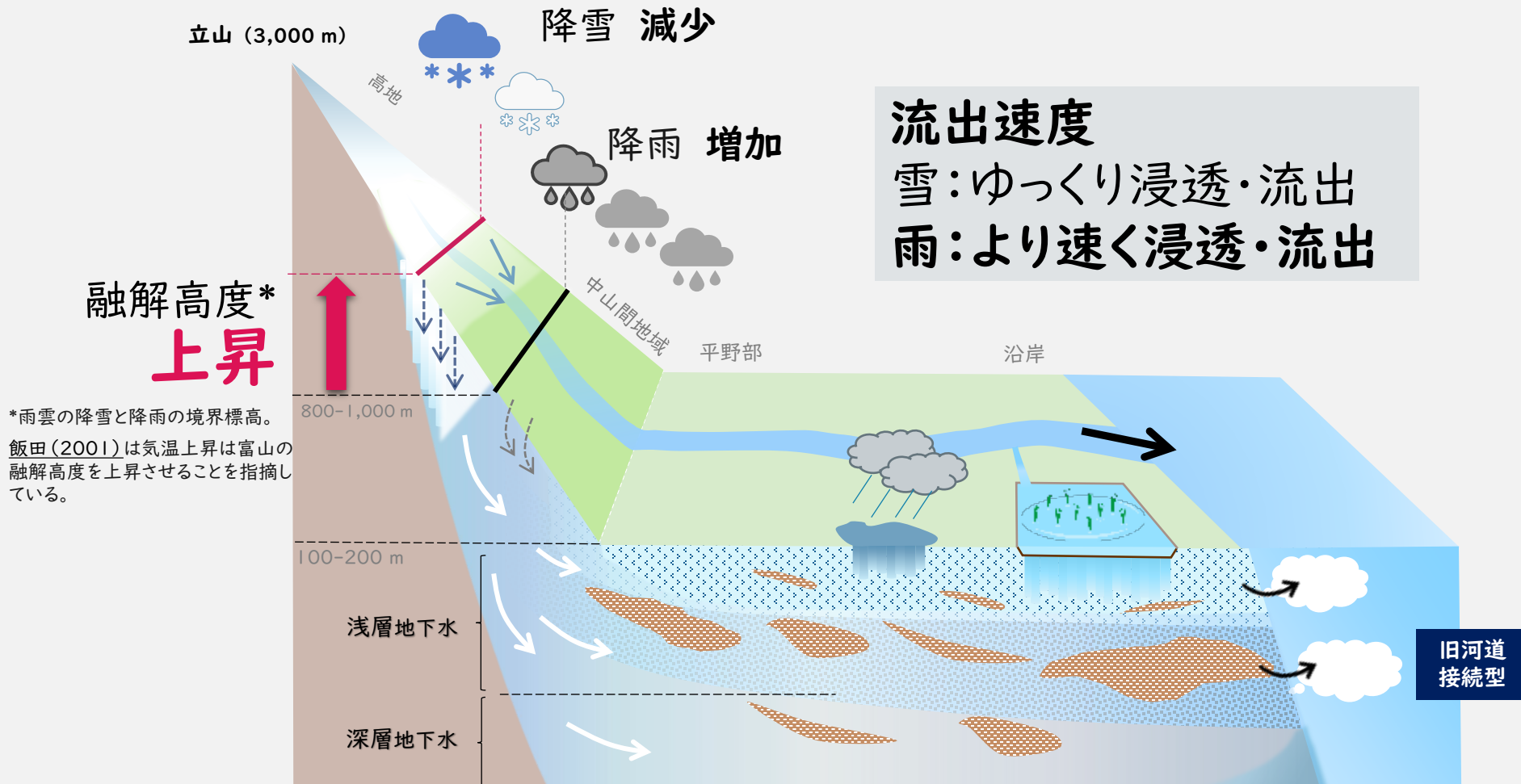
$$\delta^{18}\text{O} = -(0.00236 \pm 0.00016)h - (8.68 \pm 0.22) \quad (2)$$

**h : 水の起源標高 (涵養標高)**

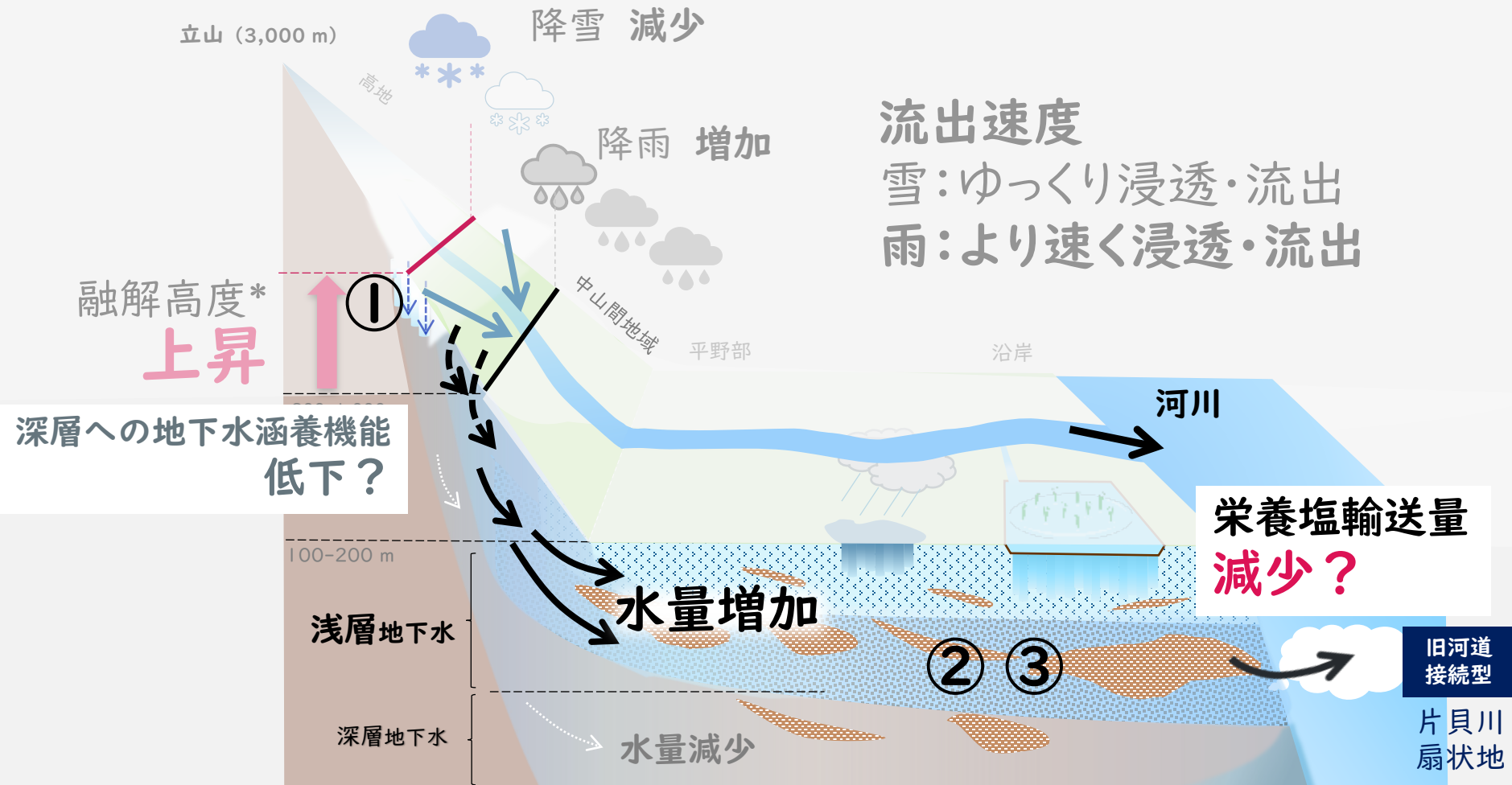
水谷・佐竹 (1997)

流域全体の起源評価が可能 各流域の平均集水高度:過去と同様

# 少雪・多雨化の影響による水循環の変化 ～考えられるプロセス～



# 少雪・多雨化の影響による水循環の変化 ～考えられるプロセス～



## 【仮説】想定される地下水の水質的变化

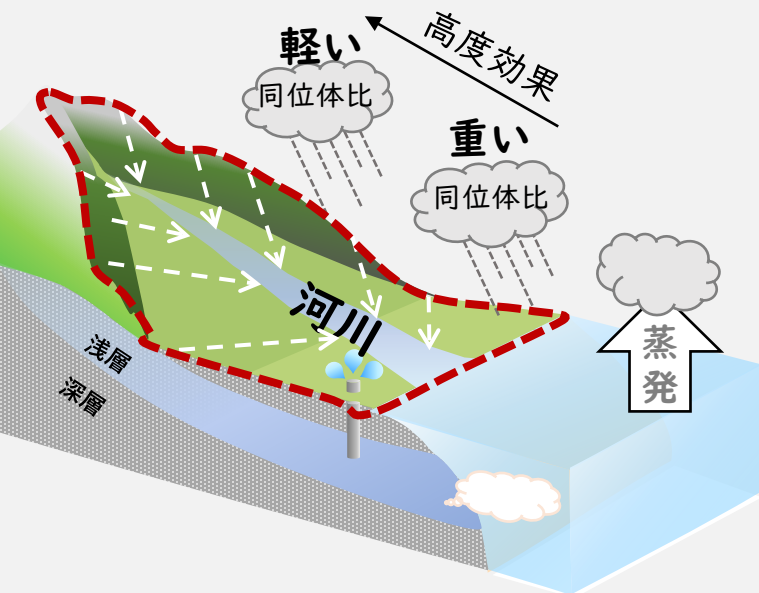
- ① 地下水の起源標高の上昇
- ② 陸水の栄養塩濃度の低下
- ③ 海へ達するまで滞留時間の短縮化

# 「出口」の同位体比からみえた片貝川上流域における降雪・降雨の境界標高の上昇

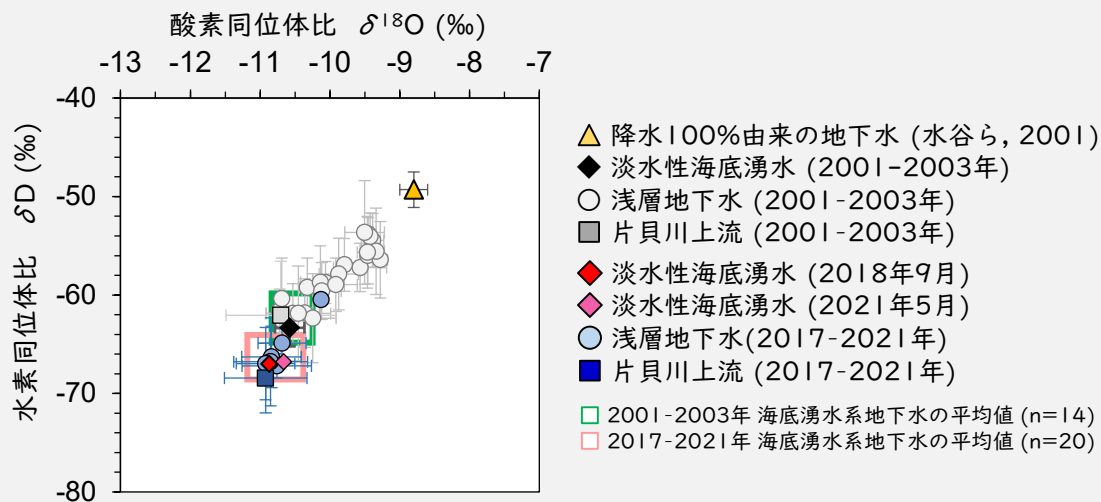
旧河道接続型

研究成果2

水  $H_2O$  の「DNA」 水素・酸素安定同位体比



片貝川扇状地 地下水・河川水の分析結果 Katazakai and Zhang (2021)



➤ 海底湧水系の平均涵養標高の比較

|           | 平均<br>涵養標高 (m) |
|-----------|----------------|
| 2001-2003 | 800±80         |
| 2017-2021 | 980±150        |



**涵養標高  
100-250 m上昇**

➤ 降雨・降雪の境界標高の指標: 冬季(12月~3月)の融解高度\*

2001-2003: 760±80 m

2017-2021: 850±80 m

\*飯田(2001) 等



**+90-250 m 上昇**

融解高度

同位体比の結果⇒ 気温上昇・**降雪の下限**の上昇を確認

溶存成分のとの  
関係性は?

# 片貝川上流域での涵養状況の変化に伴う 溶存成分の希釈と滞留時間の短縮

旧河道接続型

研究成果 3

## (1) 地下水の起源標高

**100-250 m上昇**

➤ 水源付近の標高帯: 雪から雨に

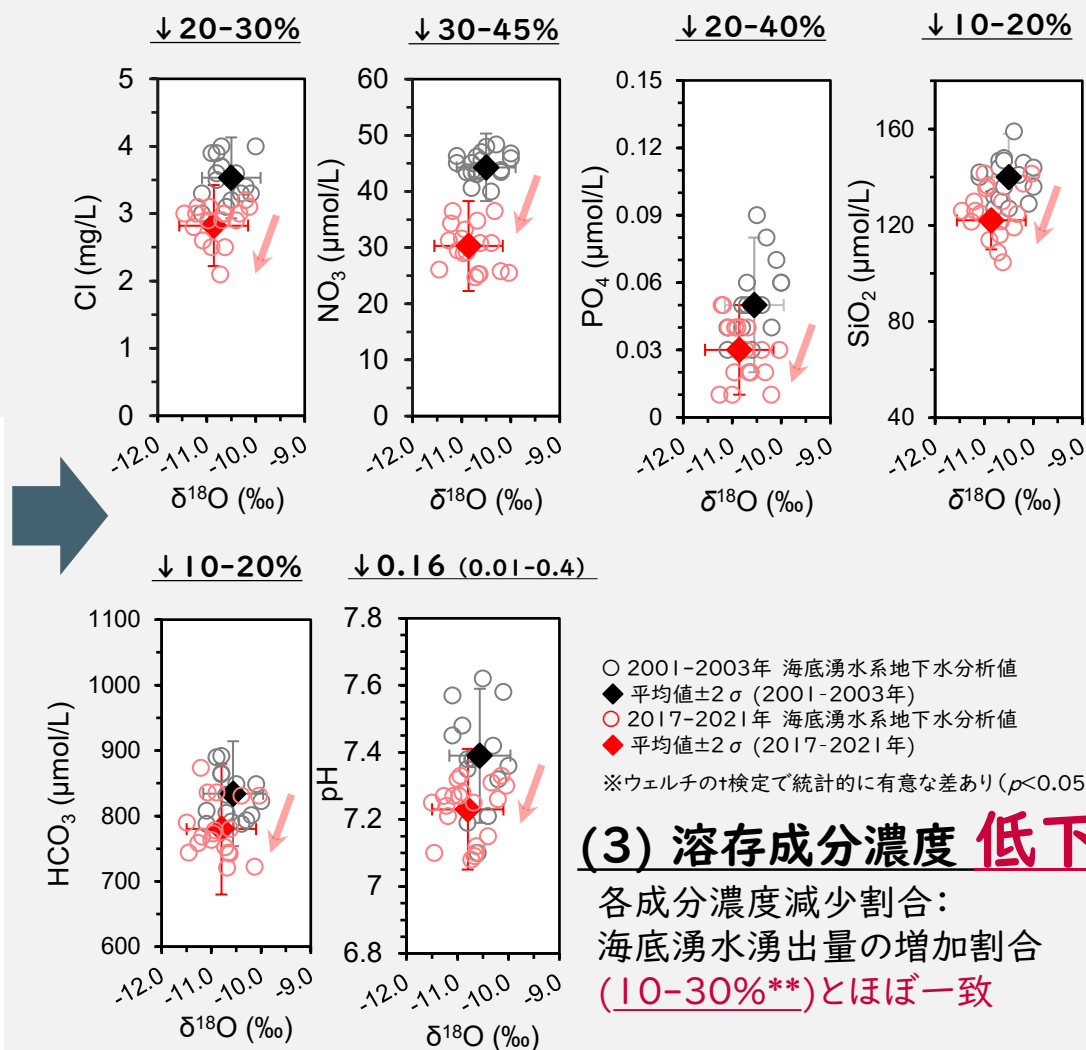


- ◆ 山間部から平野部浅層地下水へ  
短期間で流出する水量の増加
- ◆ 流速増加

## (2) 滞留時間 **1/3 短縮**

|           | トリチウム年代<br>(years) |
|-----------|--------------------|
| 2000-2001 | 5-20*              |
| 2018-2021 | <b>3-14</b>        |

\*Zhang and Satake (2003) にて観測されたトリチウム濃度より再解析, \*\* Zhnag et al. 2017

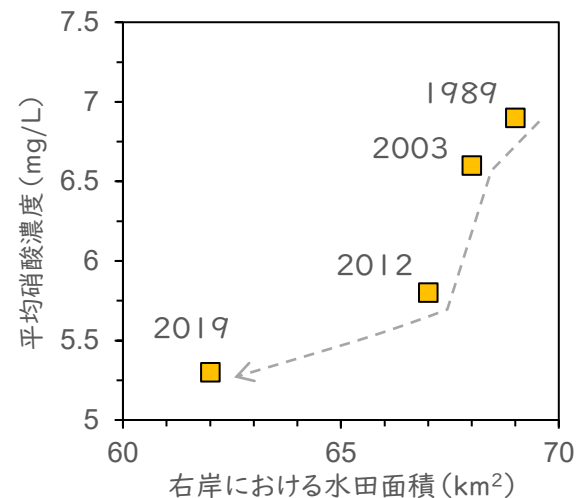
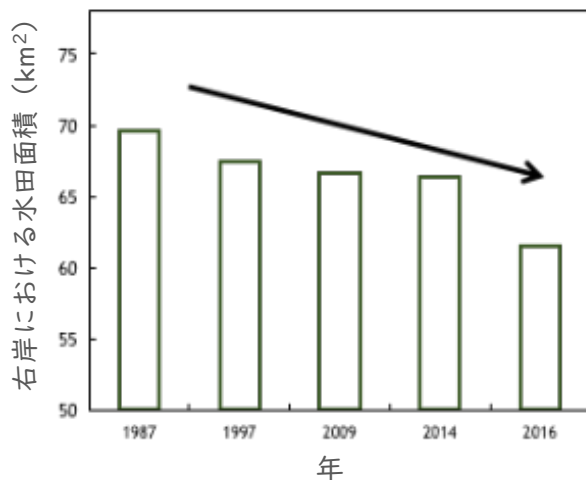
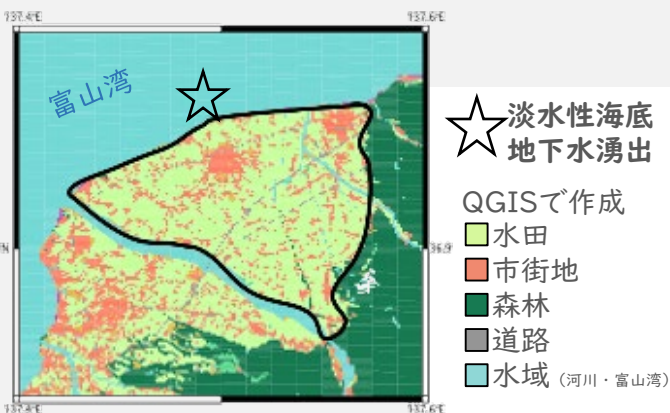


## (3) 溶存成分濃度 **低下**

各成分濃度減少割合:  
海底湧水湧出量の増加割合  
(**10-30%\*\***)とほぼ一致

## 黒部川扇状地の土地利用図

国土数値情報ダウンロードサービス



黒部川右岸：水田面積 多  
硝酸濃度 高  
(肥料由来) NO<sub>3</sub>濃度

右岸の水田面積 減少

地下水中の平均硝酸濃度 減少

試算

陸上地下水(右岸)から富山湾沿岸への供給量の減少量

約 - 1200 ton NO<sub>3</sub>/30年 N-NO<sub>3</sub>: 20-30kg/日

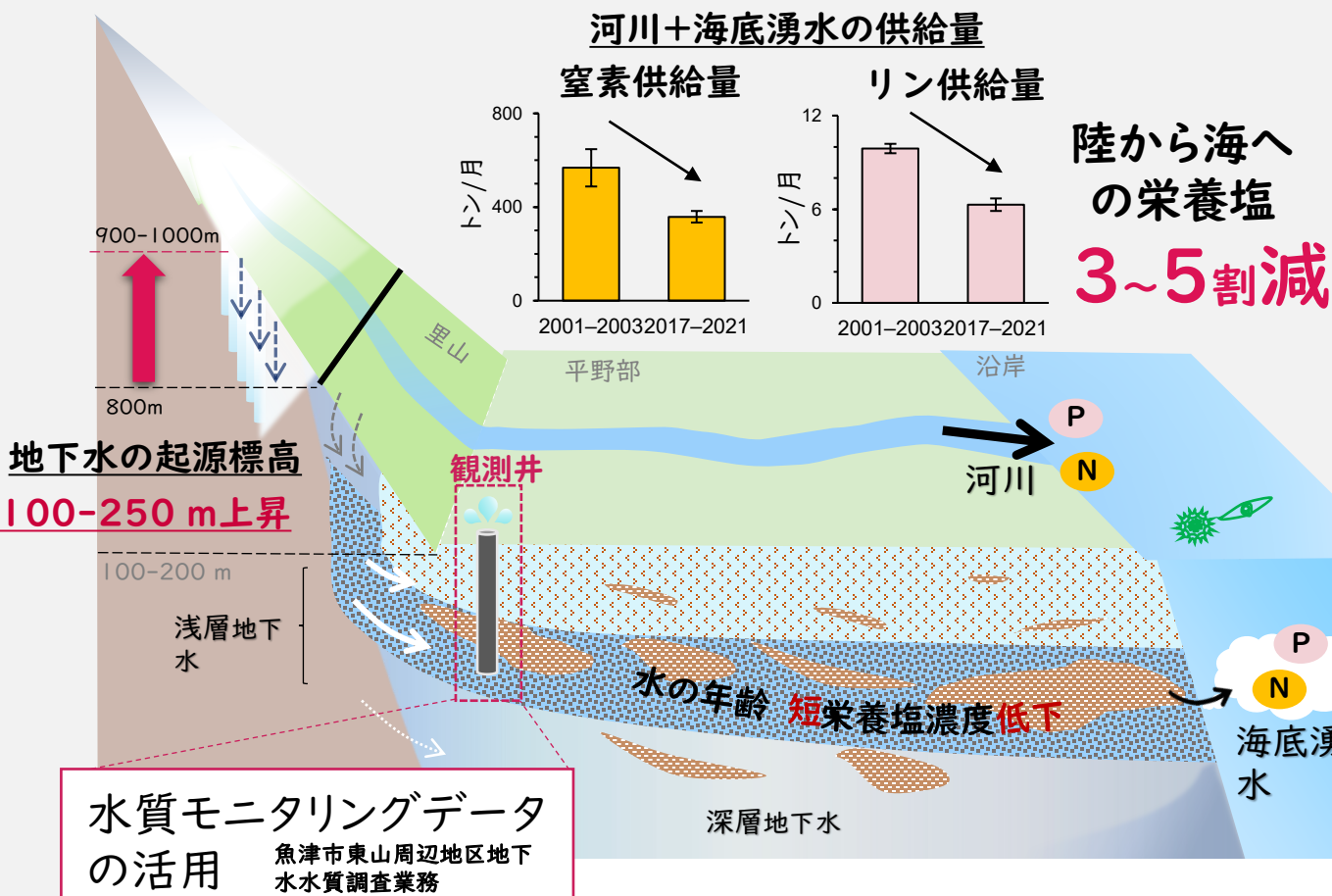
黒部川の年間供給量に相当

1000-1200 ton/年



水・栄養塩循環への人為的影響(土地利用変化)

も確認



## TN・TP負荷量

**産業排水：2-3割減！**

河川經由の栄養塩減少:

## 人為的削減の影響 大



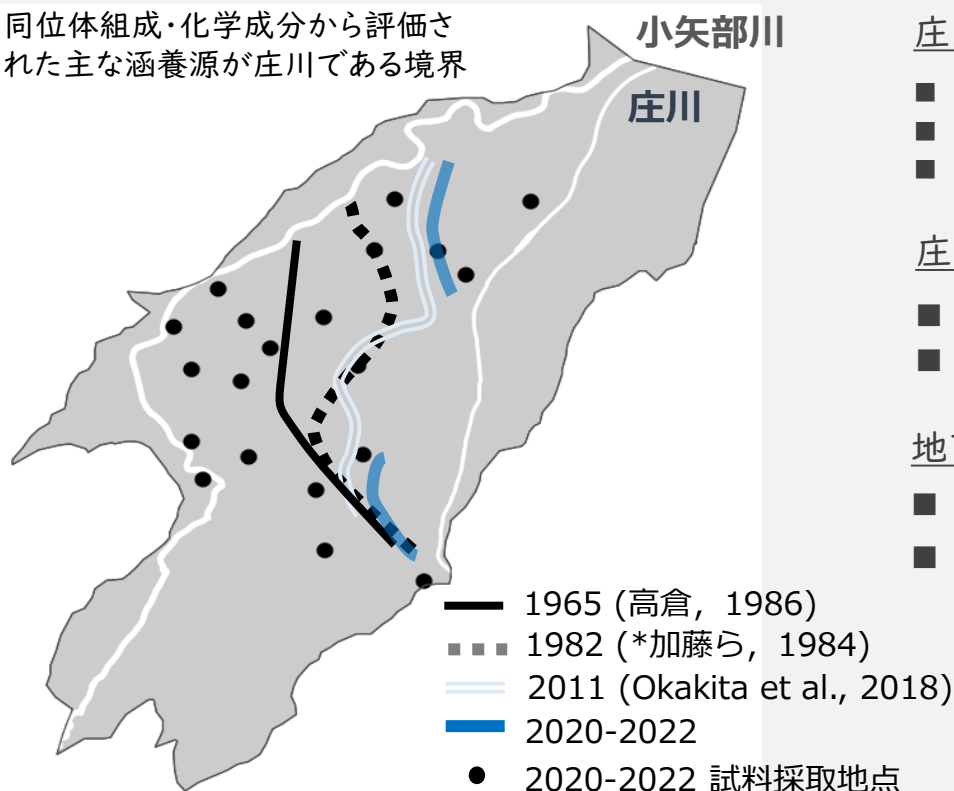
### 1. 富山県

海底湧水湧出量:~3割増

**栄養塩供給量：～3割減**

N 窒素  
P リン

同位体組成・化学成分から評価された主な涵養源が庄川である境界



### 庄川扇状地地下水の起源

- 庄川河川水
  - 水田からの浸透 (灌漑水)
  - 地表からの降水の浸透
- 3成分の混合で形成されている<sup>1,2</sup>

### 庄川からの浸透の勢力の長期変化 (左図上)

- 1965年と比較すると庄川からの浸透の勢力 弱
- 2000年以降は安定している

### 地下水中の栄養塩濃度・各涵養源の割合の比較

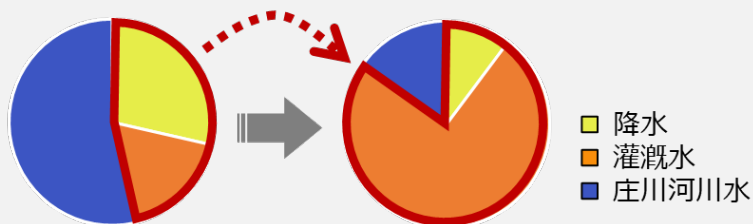
- 栄養塩濃度: 過去20年間有意な変化は確認されなかった
- 各涵養源: 河川水割合減少 灌漑水・降水の割合7-8割

**現在の重要な地下水涵養源: 地表からの浸透**

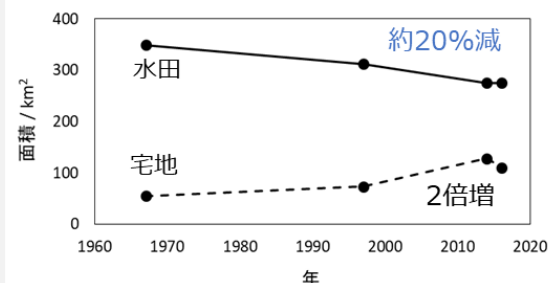
へ増加

⇒地下水流動モデルの解析結果と調和的

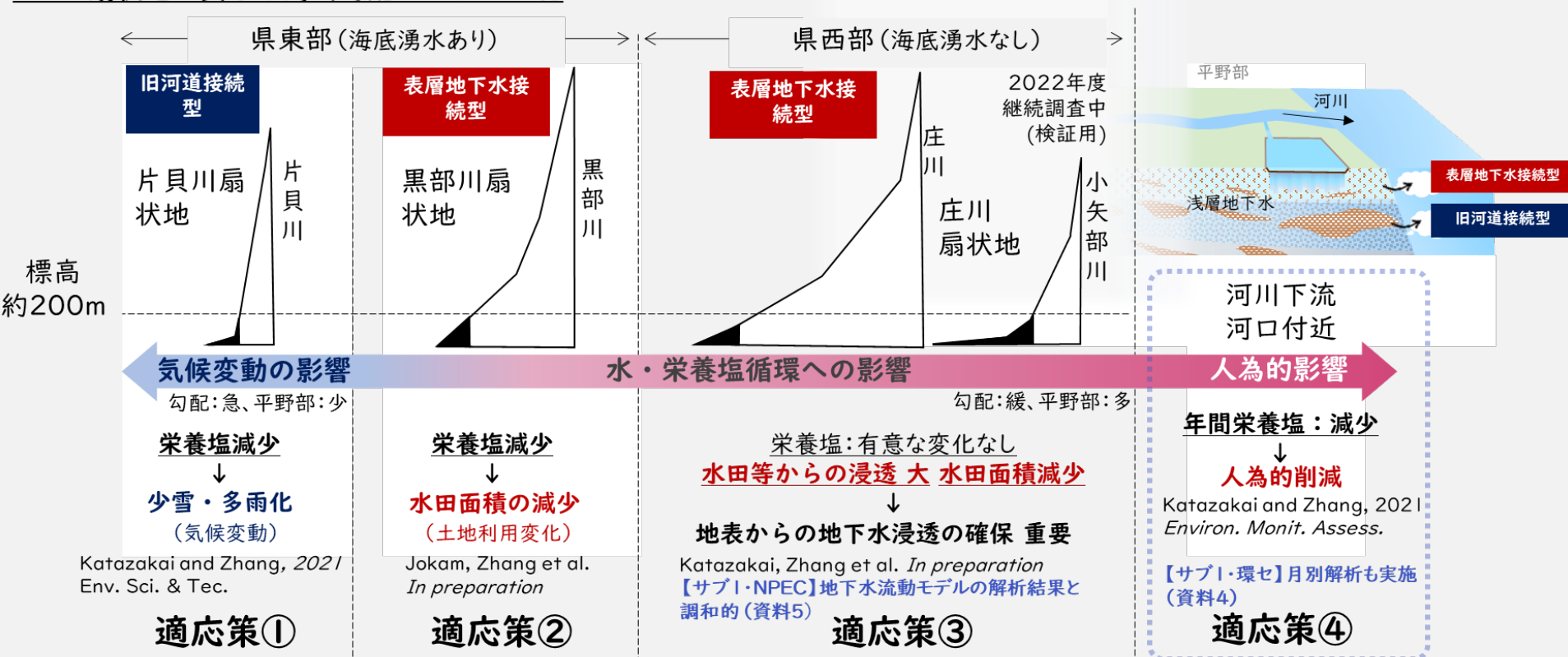
現在の水田面積: **減少傾向**



今後の地下水量の維持には…  
**地表からの水の浸透を確保する必要がある**



## 3つの扇状地の異なる河川勾配のパターン化



- 流域内の地形環境・土地利用・人間活動によって栄養塩変化の要因が異なる
- 「流域単位」での変化・影響要因の特定、それに合った適応策の選定が必要

## 休耕田における地下水涵養実験

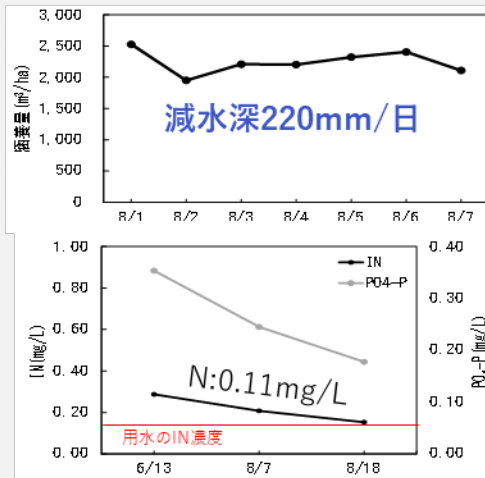
地下水中への水の浸透量と栄養塩付加量の定量



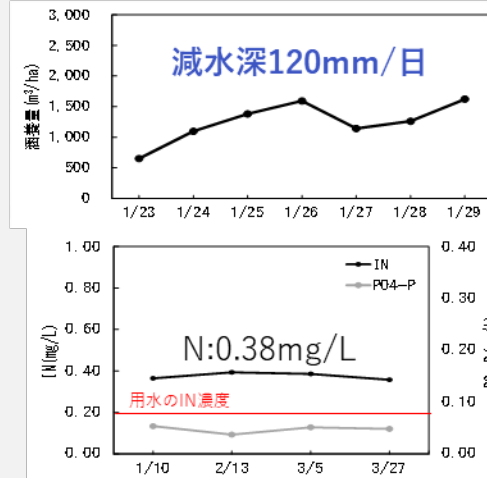
地下水への水浸透+

流入水の10~100倍の栄養塩濃度

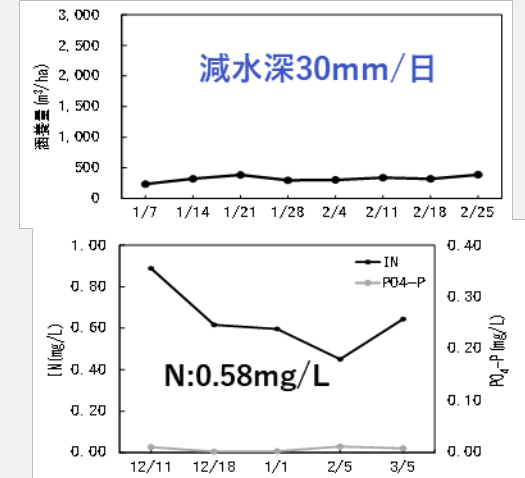
### 夏季・休耕田・用水



### 冬季・畑・用水(休耕期間)



### 冬季・水田・降水(休耕期間)



- 夏季・冬季：水浸透・栄養塩付加を確認 特に冬季・水田・降水(休耕期間)に付加高
- 夏季は地下水涵養試験中に雑草が生えていたが、冬季は確認されなかった

# まとめ

## 適応策：休耕田を利用した地下水涵養・栄養塩付加



# 環境政策等への貢献

# 地域特性に応じた課題解決のための 連携強化

## 1. 富山県（環境政策課、環境安全課）からの意見・要請@2022年2月14日 意見交換会

- **降雪状況の変化が地下水位や水質に与える影響**（例：塩水化や地盤沈下の範囲の拡大、消雪利用による急激な地下水位の低下の多発）を危惧している。
- 予想される気候変動影響下において、湛水して栽培できる作物等の提案があると適応策の選択肢が広がる。
- **栄養塩の人工涵養**について、**周辺の地下水質への影響の有無等**についても検討してほしい。
- **適切な地下水利用が地球温暖化対策に効果的であることを、数値等で明確に**してほしい。

## 2. 富山県魚津市 からの意見・要請@ 2022年7月6日 魚津市長との意見交換会

- 提案された地下水涵養による気候変動適応策について、今後も連携しながらこれまで以上に推進したい。
- 研究成果に基づき新規に拡大した休耕田涵養の栄養塩付加効果について、新たに追加調査を要請する。

→ R4年度より追加調査・栄養塩分析実施中  
モデルでの効果検証も最終年度に実施

■ R3年度  
魚津市拡大箇所  
(+2.04ha)



東蔵地区涵養田位置図（魚津市より提供）

## 3. 富山県西部（呉西圏域6市）からの意見@ 2022年7月11日

- 呉西圏地域の特性である地下水資源の有効活用 及び 気候変動適応策という観点から、**休耕田地下水涵養の効果検証は大変重要であり、調査の結果を期待している。**

→ R4年度より、県西部砺波市柳瀬地区で実施されている休耕田涵養地を対象に、追加調査中

## 4. とやま21世紀水ビジョン推進会議での提言@ 2023年8月2日

- 温暖化対策として水を利用したカーボンニュートラル適応策を盛り込むことに貢献

**地域行政と密に連携・ニーズへ対応しながら、具体的な適応策の提案ができる見込み**



Thank you!

---