

## 本講義資料のご利用にあたって

本講義資料内には、東京大学が第三者より許諾を得て利用している画像等や、各種ライセンスによって提供されている画像等が含まれています。個々の画像等の利用については、それぞれの権利者の定めるところに従ってください。

著作権が東京大学の教員等に帰属する著作物については、非営利かつ教育的な目的に限り再利用することができます。

ご利用にあたっては、以下のクレジットを明記してください。

クレジット:

UTokyo Online Education 人間環境システム学 2021 穴澤活郎



# 人間環境システム学

不思議な災害

不思議な災害

インターネットへのアクセスは、この時間から講義終了までお控えください

災害の原因、プロセス、解決方法、をお考えください

アフリカ

# のどかな湖畔



# のどかな湖畔

なだらかな窪地のキャッサバ畑



湖近くの町で恒例の市が開かれた

2011年1月撮影

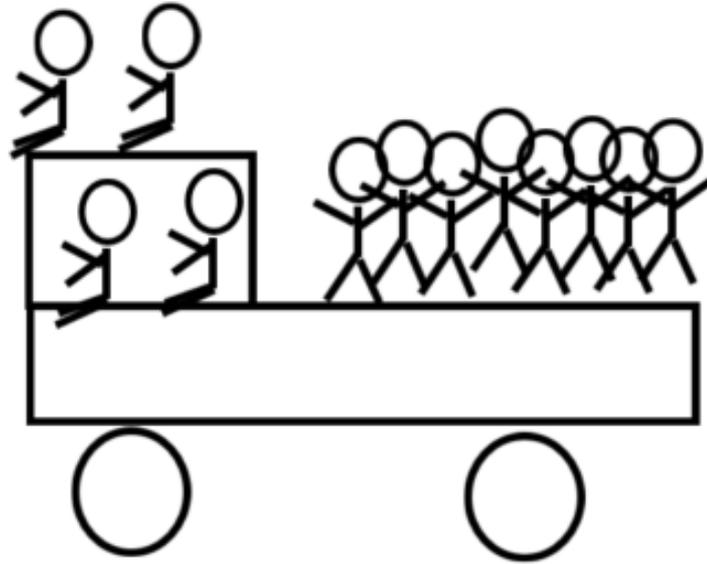
# のどかな湖畔



- 午前5時、12 人の人々が一台のトラックに乗り、市場に向かっていった

# 湖畔で発生した不思議な事件

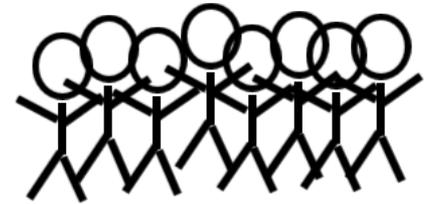
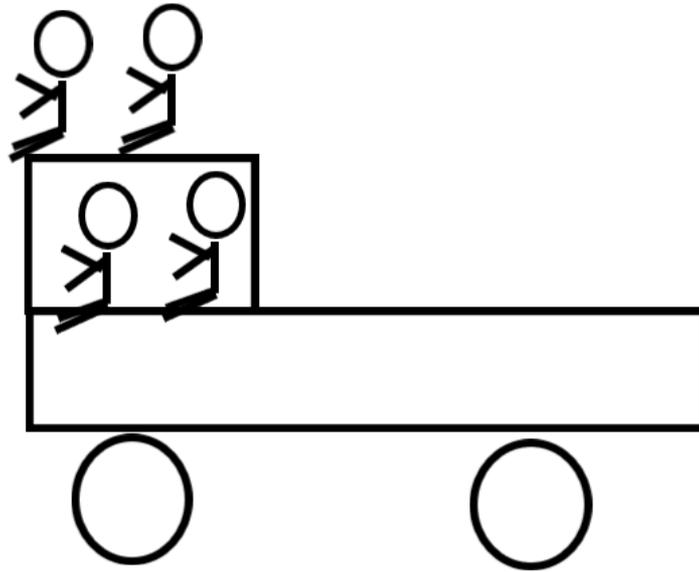
?



1台のトラックが12人を運んでいた  
突然、トラックのエンジンが停まった

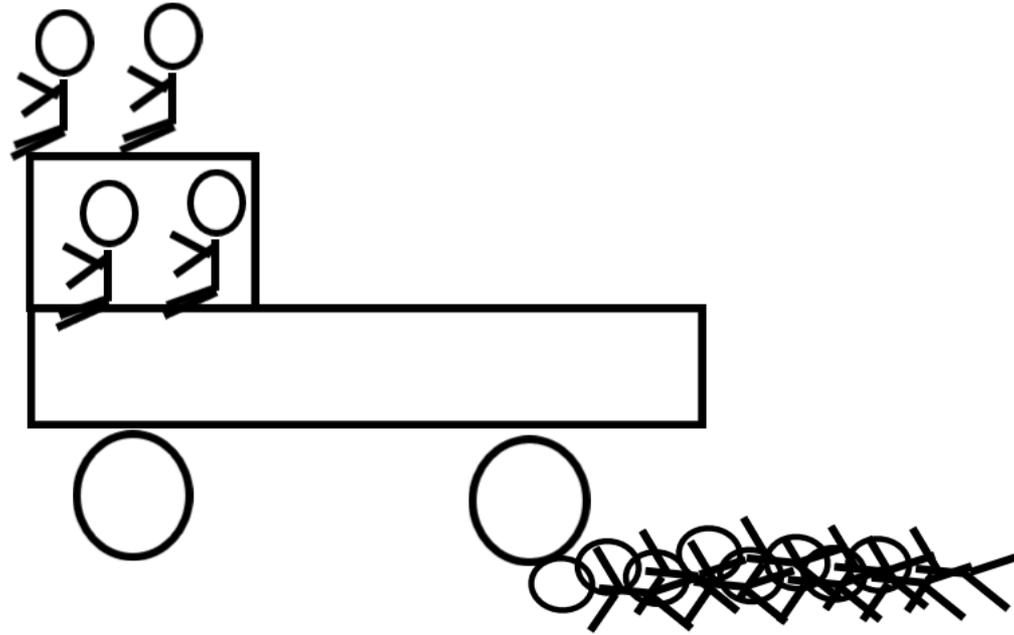
# 湖畔で発生した不思議な事件

?



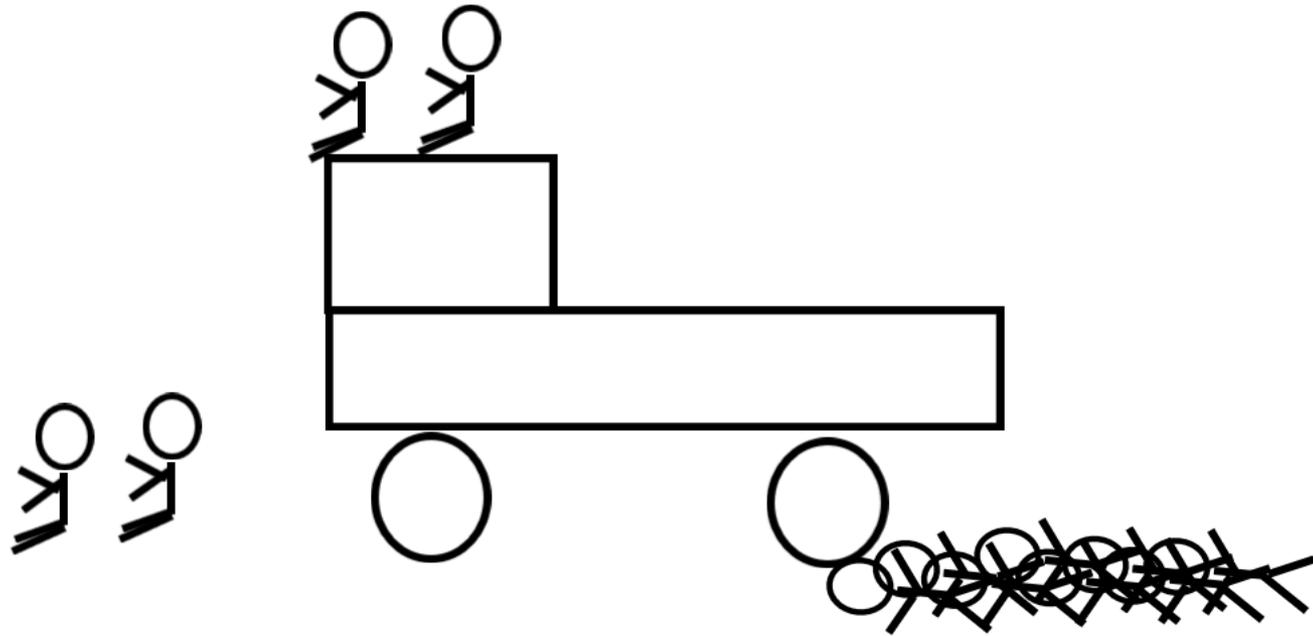
1台のトラックが12人を運んでいた  
突然、トラックのエンジンが停まった  
荷台に乗っていた人々が様子を見ようと車を降りた

# 湖畔で発生した不思議な事件



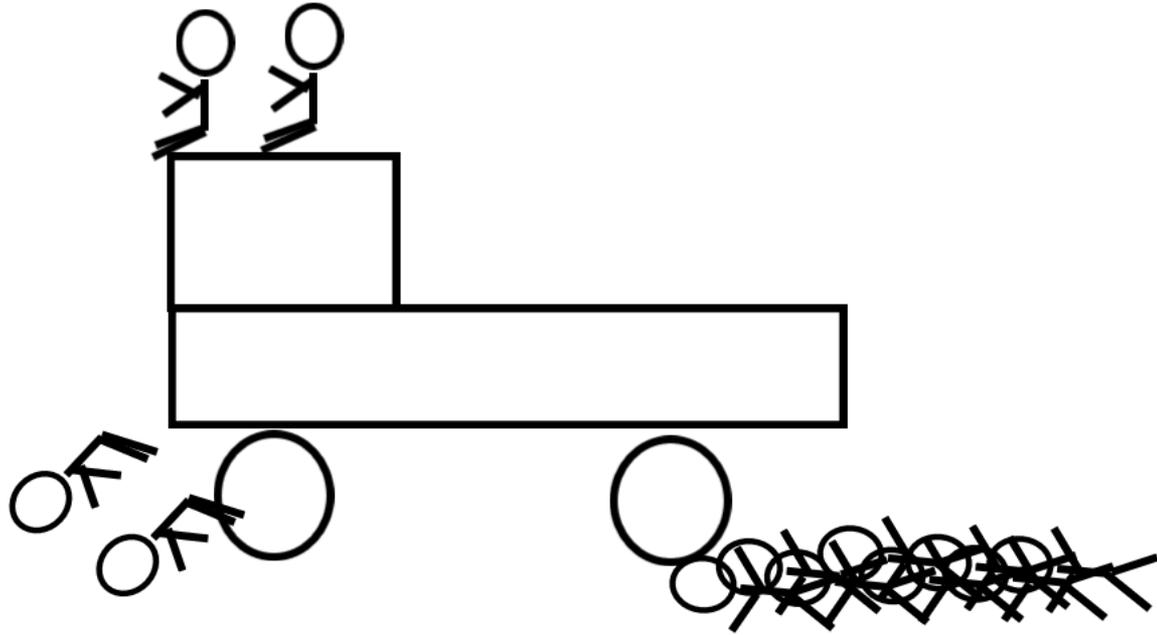
1台のトラックが12人を運んでいた  
突然、トラックのエンジンが停まった  
荷台に乗っていた人々が様子を見ようと車を降りた  
次々と倒れた

# 湖畔で発生した不思議な事件



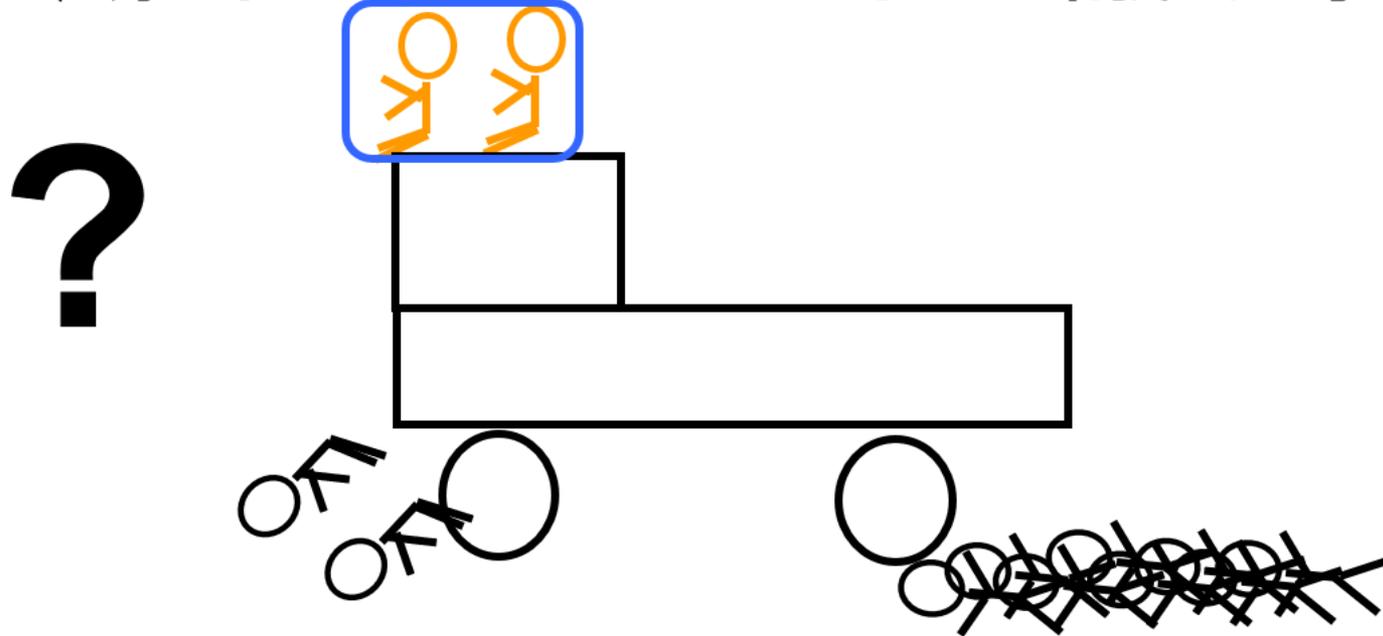
1台のトラックが12人を運んでいた  
突然、トラックのエンジンが停まった  
荷台に乗っていた人々が様子を見ようと車を降りた  
次々と倒れた  
驚いた運転手らも降りた

# 湖畔で発生した不思議な事件



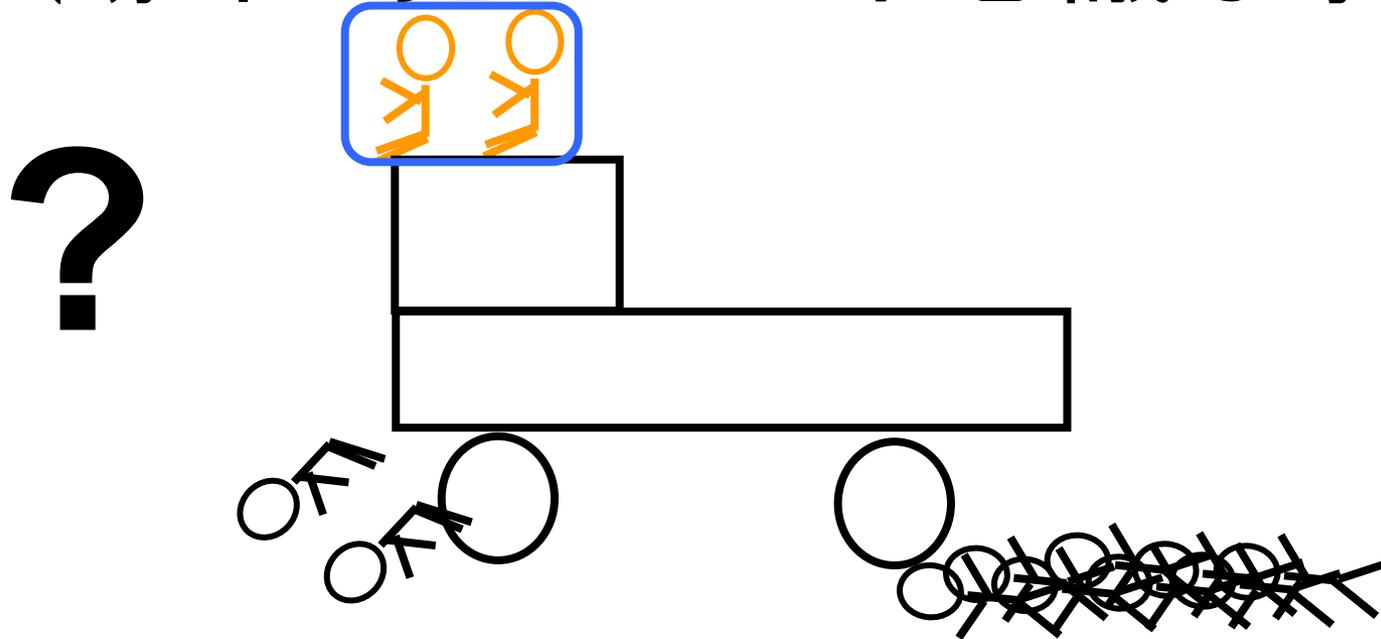
1台のトラックが12人を運んでいた  
突然、トラックのエンジンが停まった  
荷台に乗っていた人々が様子を見ようと車を降りた  
次々と倒れた  
驚いた運転手らも降りた  
彼らも倒れた

# 湖畔で発生した不思議な事件



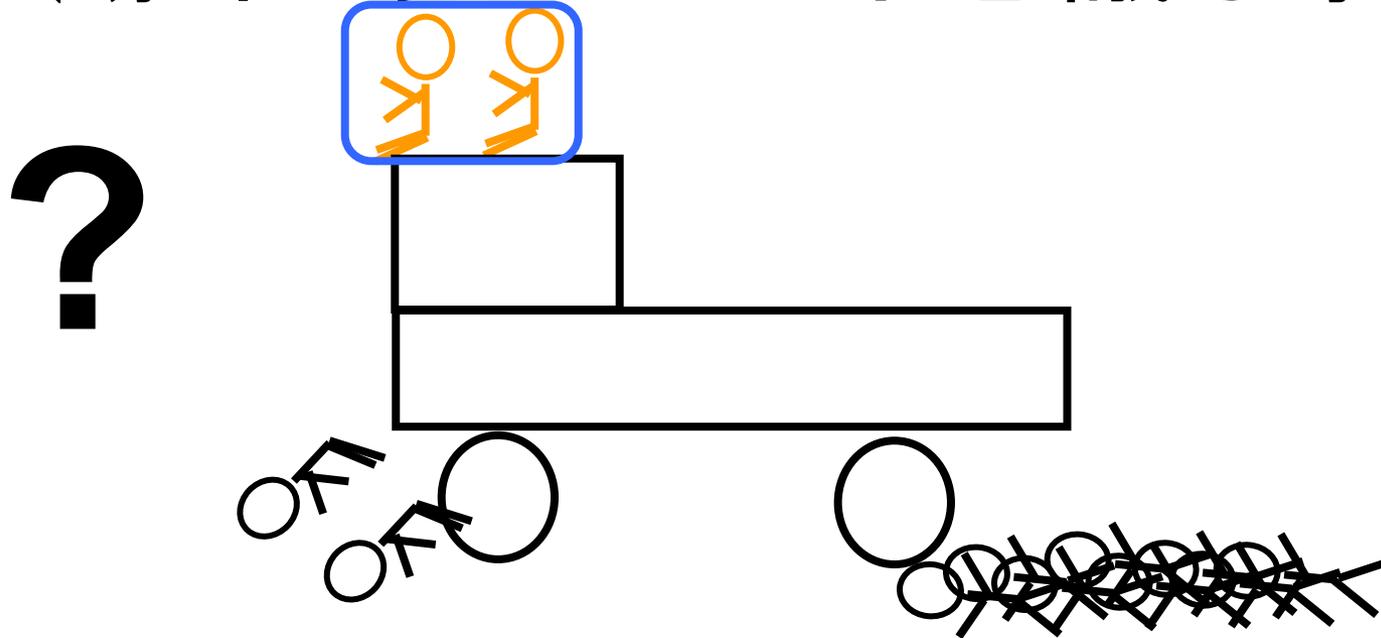
- トラックの上に乗っていた二人は恐れて、降りなかった
- この二人だけが助かった

# 湖畔で発生した不思議な事件



- トラックの上に乗っていた二人は恐れて、降りなかった
- この二人だけが助かった

# 湖畔で発生した不思議な事件



- 同時刻、近隣では別の人も倒れていた
- 死者37名

?

この不思議な事件は忘れ去られた  
次の事件が起こるまで...

- 2年後の1986年8月 -

そこから北へ100kmの湖

# 湖周辺の異変

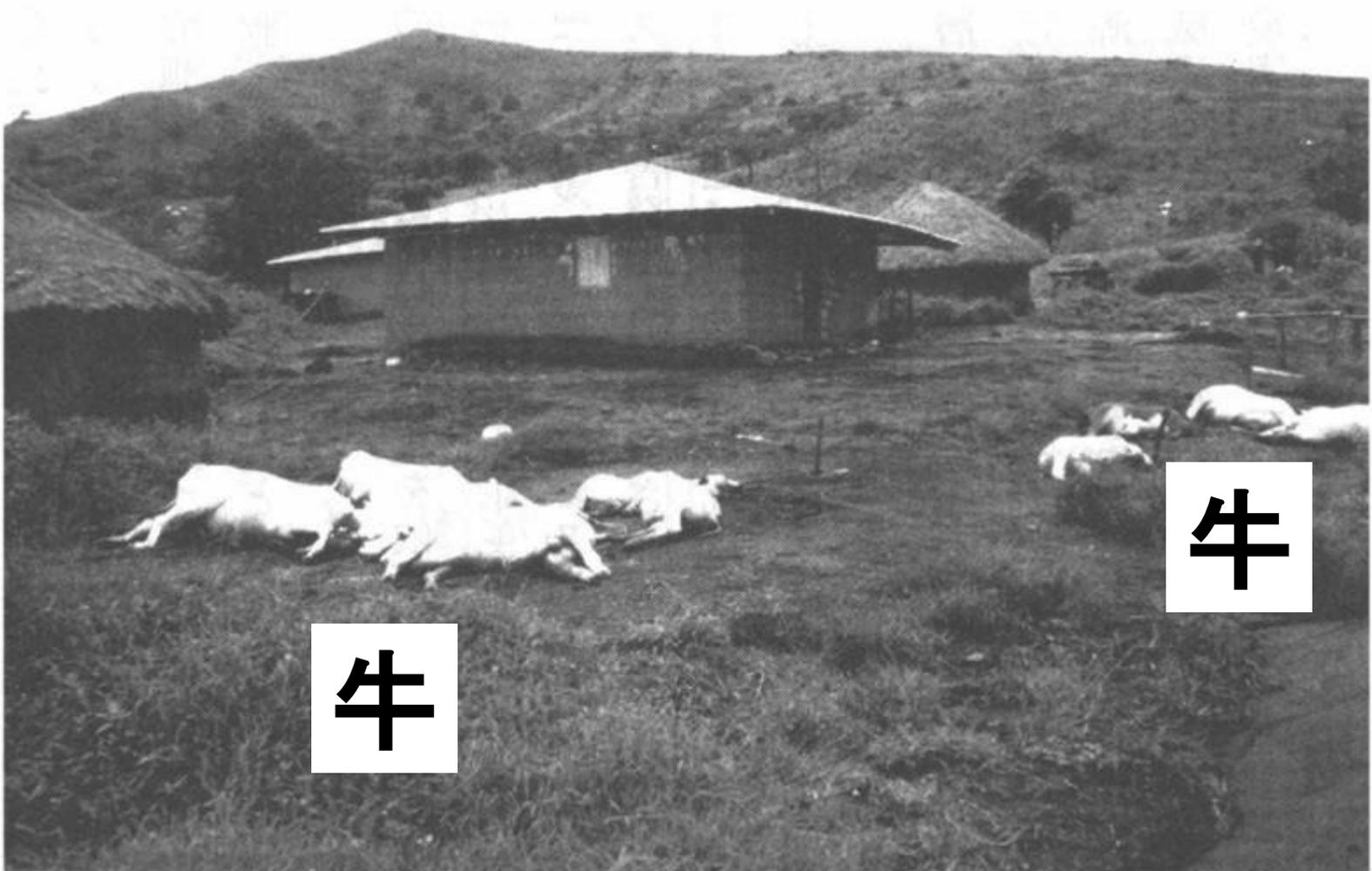
## 1986年8月21日

- 深夜、突如として湖周辺の村落からの通信が途絶えた
- 翌朝、近隣の人々が訪ねると、そこには異様な光景が広がっていた



静寂の中、鶏が死んでいた

# 現場写真 1986年



牛

牛

牛も死んでいた

# 被災地を最初に訪れたオランダ人神父

- ・「あらゆる生命を奪いながら、ほかの物はまったく破壊されておらず、まるで中性子爆弾が爆発したようだった」



# 湖周辺の異変(まとめ)

- 湖の下流域で何者かが動物・鳥を殺戮
- 1,746 人が死亡
- 殺戮時間はわずか数分
- 死体に外傷なし
- 植物は無傷
- 周辺の岩盤や建造物に損傷なし

牛

牛

**?** **?** **?**

# 災害の数日後

- 国際救援活動
- 火山学者らによる調査
  - 日本
  - 米国
  - フランス

カメルーン

# カメルーン



地図: CraftMAP

# カメルーン



地図:CraftMAP

# マヌーン湖・ニオス湖

1986年8月 死者1,746名



ナイジェリア

ニオス湖

100km

マヌーン湖

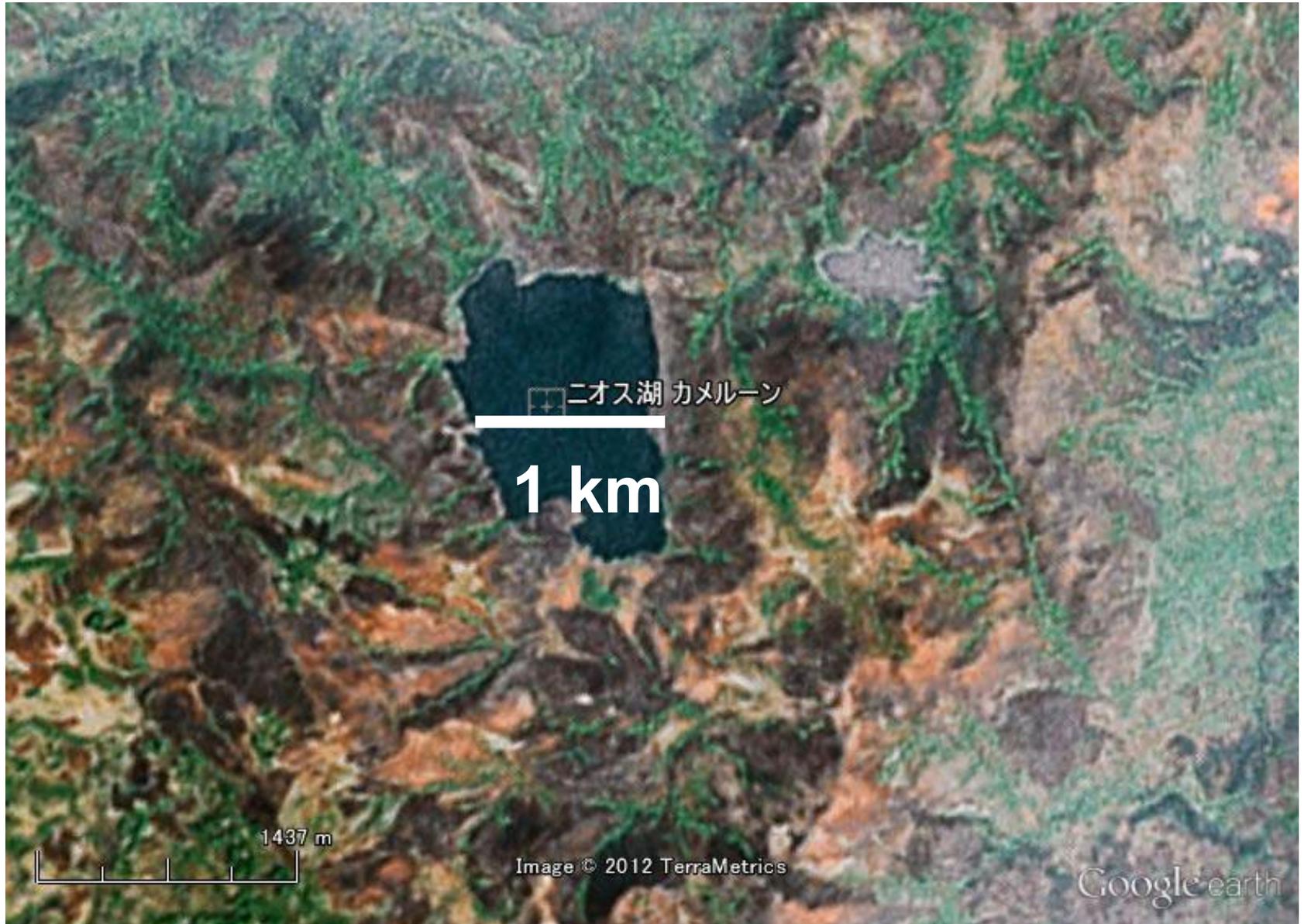
1984年8月 死者37名

50 km

カメルーン

ニオス湖  
Lake Nyos

# ニオス湖 (火口湖)



# ニオス湖 (火口湖)



Area 1.58 km<sup>2</sup>  
Circle 6 km  
Depth (Ave) 208 m  
Type Crater Lake

# ニオス湖

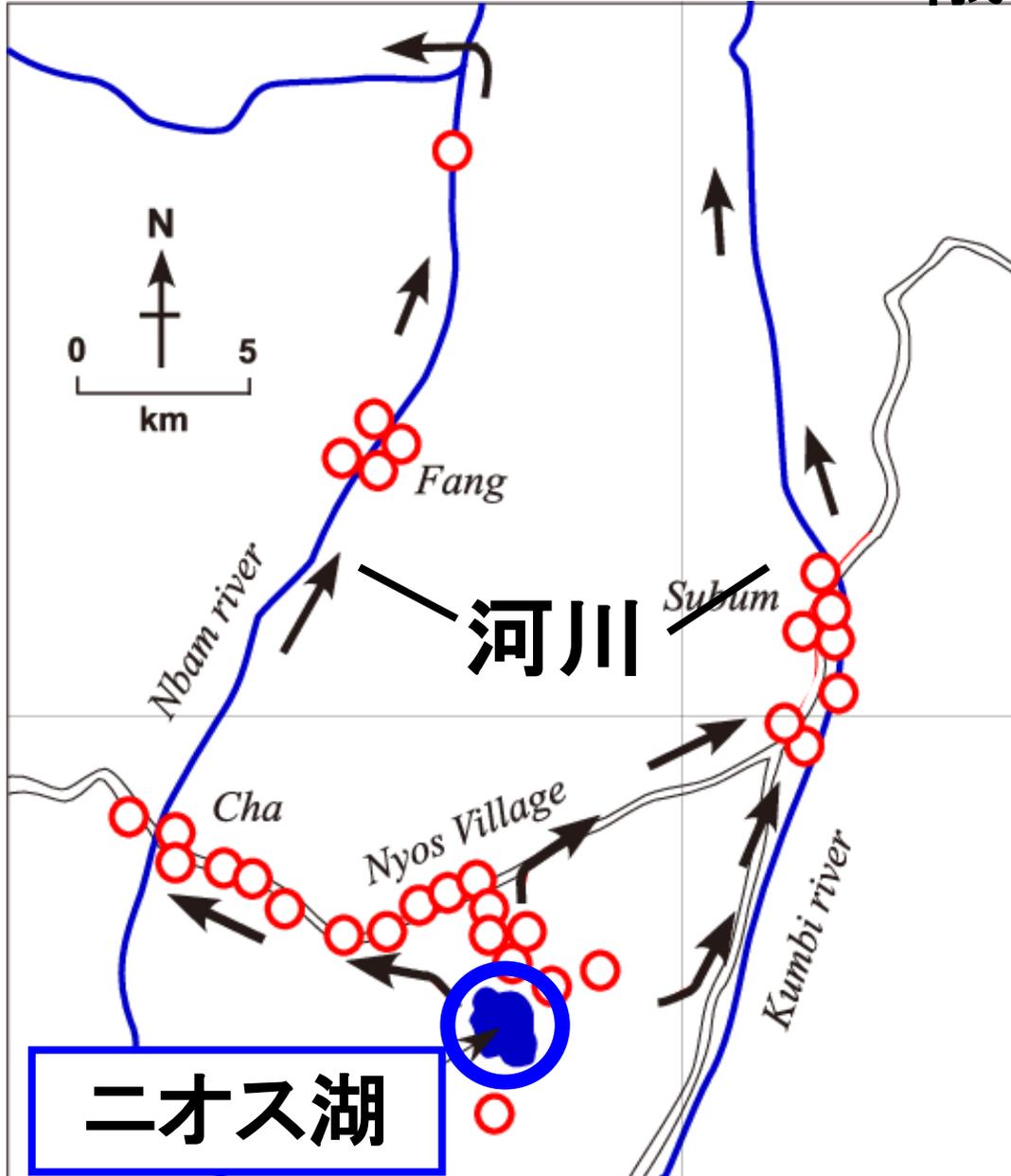


# ニオス湖



2011年01月 撮影

# 犠牲者の分布



○ 犠牲者

→ 河川の流れ

ニオス湖の下  
流側に犠牲者  
が分布

何が起きたのか？

犯人は…

有毒□□？

# 火山は有毒なガスを噴出する



- 霧島火山(2006)

# 火山ガス



- 箱根火山:大涌谷(2012)

# 火山ガス



## 注意

この警報機が

黄色点滅(ブザー)の時は  
火山ガス濃度が高くなり、注意が  
必要です。  
立ち止らず、通行してください。

赤色点滅(ブザー)の時は  
火山ガス濃度が非常に高くなり、  
危険です。  
至急、下山してください。

箱根町

## Attention

This Alarm is

Blinking Yellow (Buzzer):  
You should be careful.  
Don't stop and pass through  
because volcanic gas gets dense.

Blinking Red (Buzzer):  
You will be in danger.  
Go down the mountain urgently  
because volcanic gas gets too dense.

Hakone Town

- 箱根火山:大涌谷(2012)

# 火山ガス

黄色点滅(ブザー)の時は  
火山ガス濃度が高くなり、注意が  
必要です。  
立ち止らず、通行してください。

赤色点滅(ブザー)の時は  
火山ガス濃度が非常に高くなり、  
危険です。  
至急、下山してください。

箱根町

- 箱根火山:大涌谷(2012)

# 火山から噴出する有毒ガス

表 9・1 日本の火山ガスの化学組成

火 山	温度(°C)	化学組成 (体積%)				
		H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	HCl
有 珠 山	663	96.0	2.64	0.22	0.54	0.16
昭 和 新 山	800	98.0	1.2	0.04	0.00	0.05
蔵 王 山	96	97.7	1.98	0.24	0.01	0.00
那 須 山	365	99.7	0.11	0.03	0.12	0.03
焼 岳	163	95.8	3.6	0.07	0.35	0.08
九重硫黄山	340	97.6	0.46	1.36	0.33	0.26
薩摩硫黄島	835	98.2	0.25	0.86	0.04	0.61

松葉谷治『熱水の地球科学』裳華房, 1991, p.81

- 有毒ガス = 酸性ガス: H<sub>2</sub>S、SO<sub>2</sub>、HCl

# 火山から噴出する酸性ガス



ガスマスク

アルカリ溶液  
入り

- 薩摩硫黄島(2000)

犯人は酸性ガス ( $\text{H}_2\text{S}$  や  $\text{SO}_2$ ) ?

- しかし・・・

- 噴気孔

  - なし

- 湖水中の  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HS}^-$ 、 $\text{Cl}^-$

  - なし

- 植物：酸性ガスによる反応

  - なし

# 何が起きたのか？

- 死因
  - ガス中毒ではなかった
  - 窒息
- 窒息の原因物質・・・
  - ありふれた気体
- ニオス湖・湖底
  - 高濃度の二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )が検出
- $\text{CO}_2$ による窒息

二酸化炭素は有毒？

# CO<sub>2</sub> は有毒か？



ドライアイスを間近  
で観察

二酸化炭素CO<sub>2</sub>は有毒？

0.1%程度以下なら、  
二酸化炭素は無害

# 二酸化炭素 CO<sub>2</sub>の毒性

濃度	暴露時間	健康影響
3-4%		頭痛・めまい・吐き気
7 %	数分	気絶
10%	0.5-1分	痙攣発生
>20%	1分以内	1分以内に意識を失い、死に至る可能性
30%	20-30 秒	心拍に変化
>30%		即時に気絶

# 二酸化炭素 CO<sub>2</sub>の毒性

濃度	暴露時間	健康影響
3-10%		頭痛、めまい、吐き気
7		肺がCO <sub>2</sub> で満たされると即死
1		
>20%	1分以内	1分以内に意識を失い、死に至る可能性
30%	20-30 秒	心拍に変化
>30%		即時に気絶

# 二酸化炭素 CO<sub>2</sub>の毒性

肺がCO<sub>2</sub>で満たされると即死

換気がなされていない室内のCO<sub>2</sub> 濃度は時として1% (10,000 ppm)程度まで上昇

# 二酸化炭素の濃度・密度

# 乾燥大気の組成

大気中の気体	体積割合 (%) (乾燥大気)	分子量(g/mol)
N <sub>2</sub>	78	28.04
O <sub>2</sub>	21	32.00
Ar	0.93	39.95
CO <sub>2</sub>	0.036-0.038	46.01
	360-380 ppm	

CO<sub>2</sub> の密度は大気の 1.5 倍

発生したCO<sub>2</sub>の動き

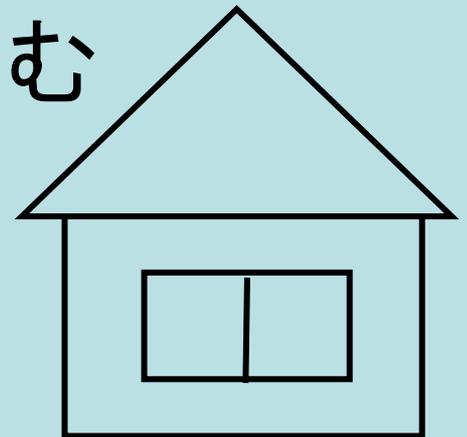
# 発生したCO<sub>2</sub>の動き

Air: N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>の比重は空気の1.5倍

CO<sub>2</sub>塊は大気の下にもぐりこむ

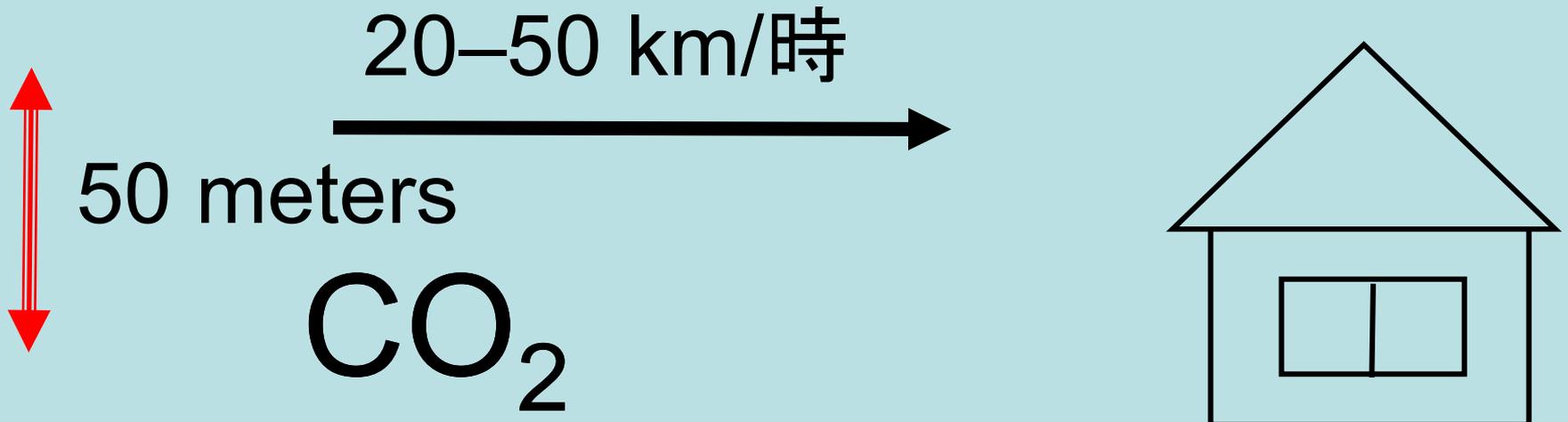
CO<sub>2</sub>



# 発生したCO<sub>2</sub>の動き

Air: N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>

厚さ50mの巨大なCO<sub>2</sub>塊が、谷間を下降  
速度: 時速 20–50 km

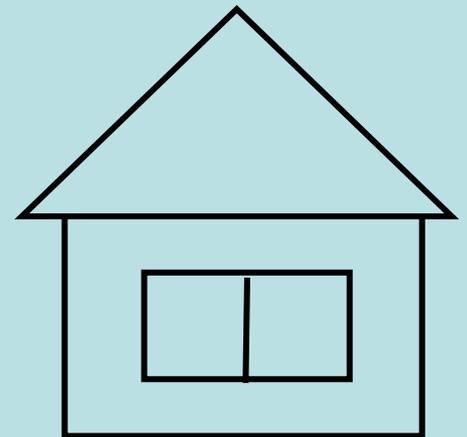
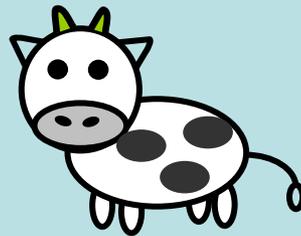


# 発生したCO<sub>2</sub>の動き

Air: N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>

肺がCO<sub>2</sub>で満たされると

CO<sub>2</sub>

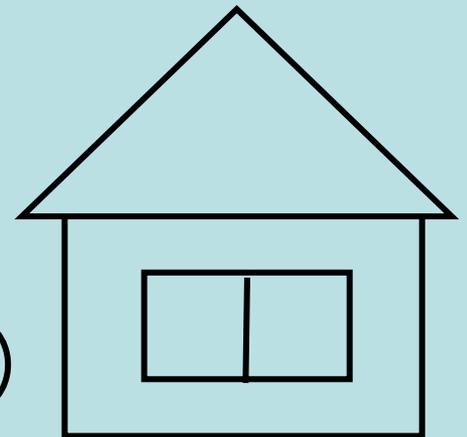
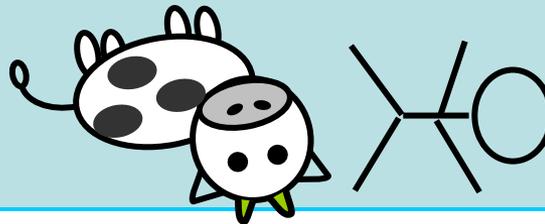


# 発生したCO<sub>2</sub>の動き

Air: N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>

肺がCO<sub>2</sub>で満たされると動物は即死

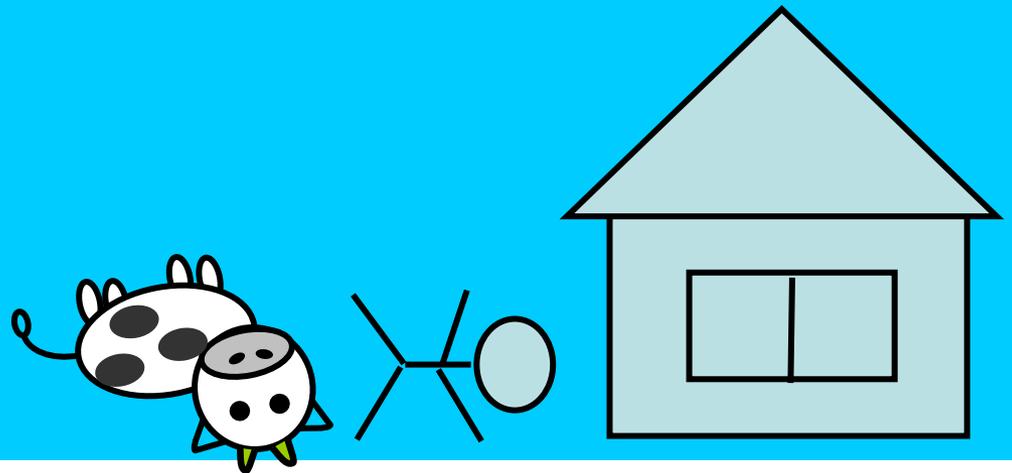
CO<sub>2</sub>



# 発生したCO<sub>2</sub>の動き

Air: N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>

この間わずか数分間

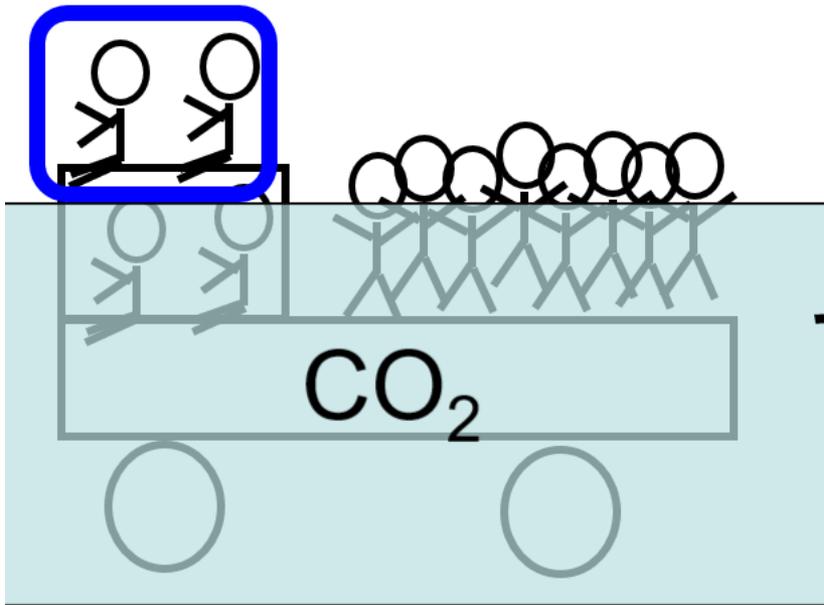


# 災害の原因

## CO<sub>2</sub> (二酸化炭素)

- 巨大な CO<sub>2</sub> 塊が谷間伝いに下降
- CO<sub>2</sub>塊の大きさ: 厚さ50m
- 速度: 時速 20–50 km
- 濃厚CO<sub>2</sub>塊の到達距離: 約23 km
- 周辺の人口: 4,000 人
- 死者: 1,746 人
  - わずか数分間のできごと

# 復習

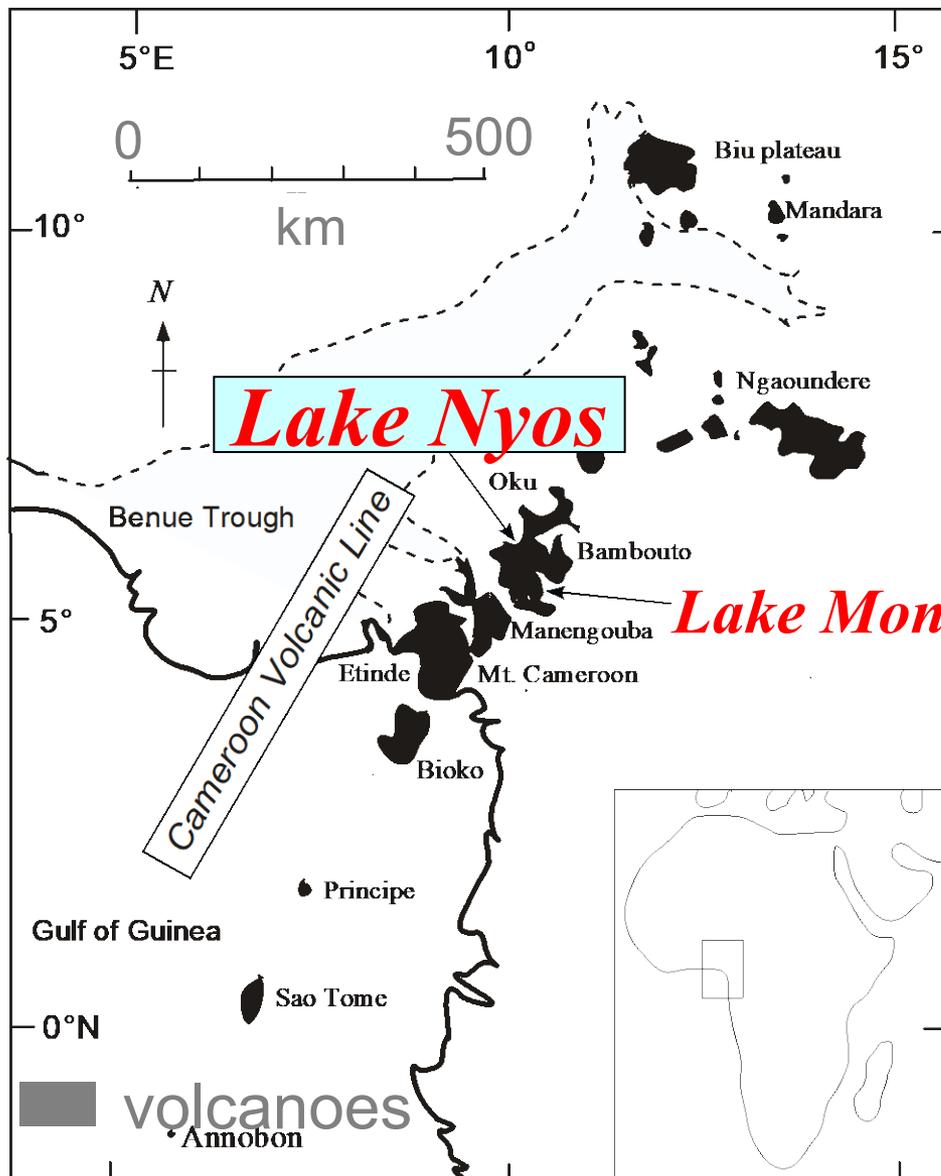


マヌーン湖の災害(1984)

- CO<sub>2</sub>は大気の下側に沈み込む
- トラックの上にとどまっていた二人
  - 高い場所にいたため、二酸化炭素の影響を受けずに済んだ

# CO<sub>2</sub>の発生源

# カメルーン火山列 (CVL)



ニオス湖  
タイプ: 火口湖  
年代: ~4000 年  
(Aka et al., 2008)

日本の火山との違い  
「海性ではない」

# 火山ガスの化学組成

- 一般的な火山ガスの化学組成
  - $\text{H}_2\text{O} \gg \text{CO}_2$
- 海性の火山ではない
  - 海水起源のSやClがない
- ほぼ純粋なマグマ起源の $\text{CO}_2$ が、一気に、大量に、放出された

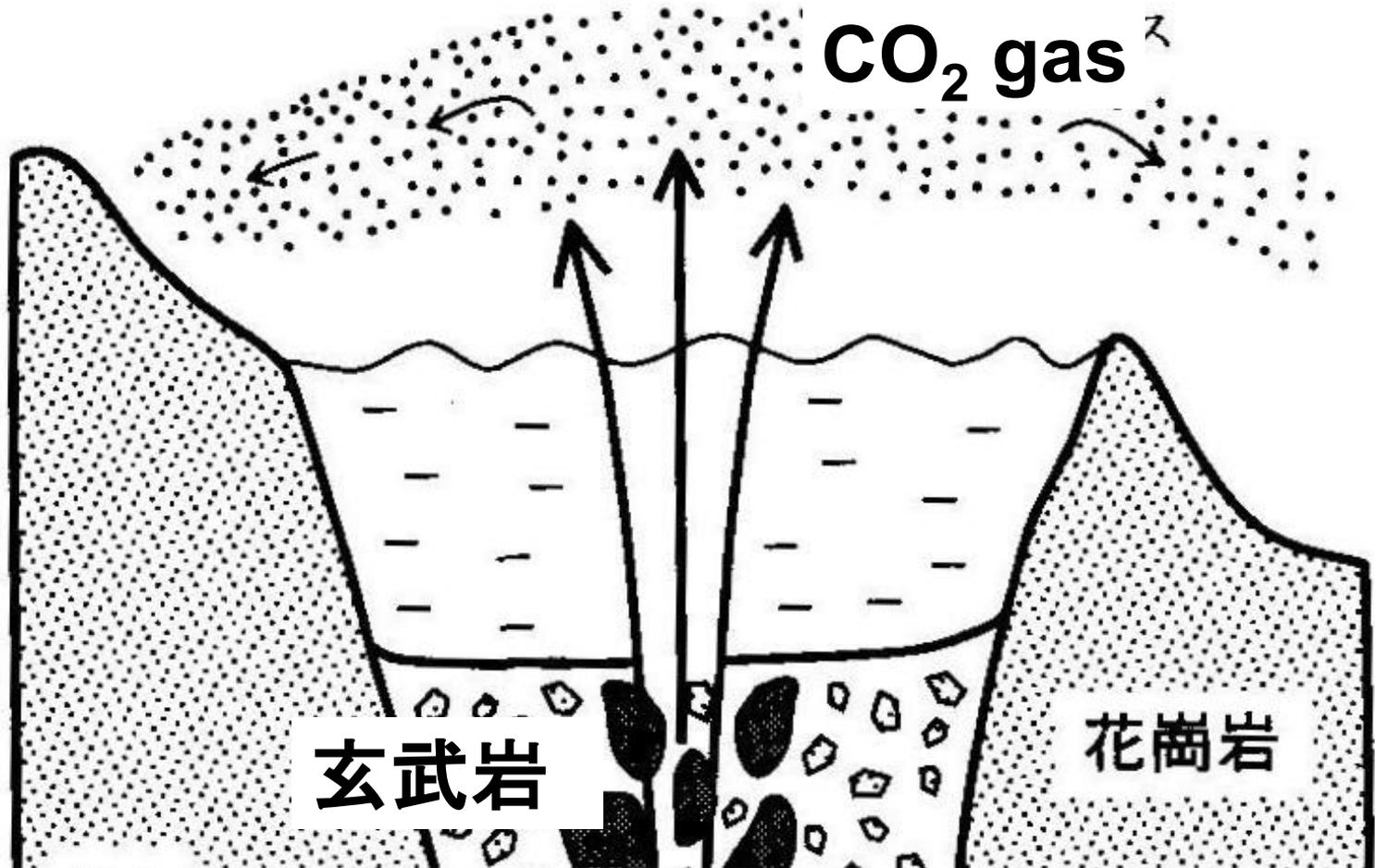
CO<sub>2</sub>はどのように噴出したのか？

# 爆発的CO<sub>2</sub>放出の 二大仮説

phreatic eruption (水蒸気爆発説)

limnic eruption (湖水爆発説)

# phreatic eruption (水蒸気爆発)



日下部実『湖水爆発の謎を解く  
カメルーン・ニオス湖に挑んだ二  
〇年』岡山大学出版会, 2010,  
p.51 一部改変

- マグマ溜まりから直接CO<sub>2</sub>が発散
- CO<sub>2</sub>の爆発的な発散を防ぐ方法はない

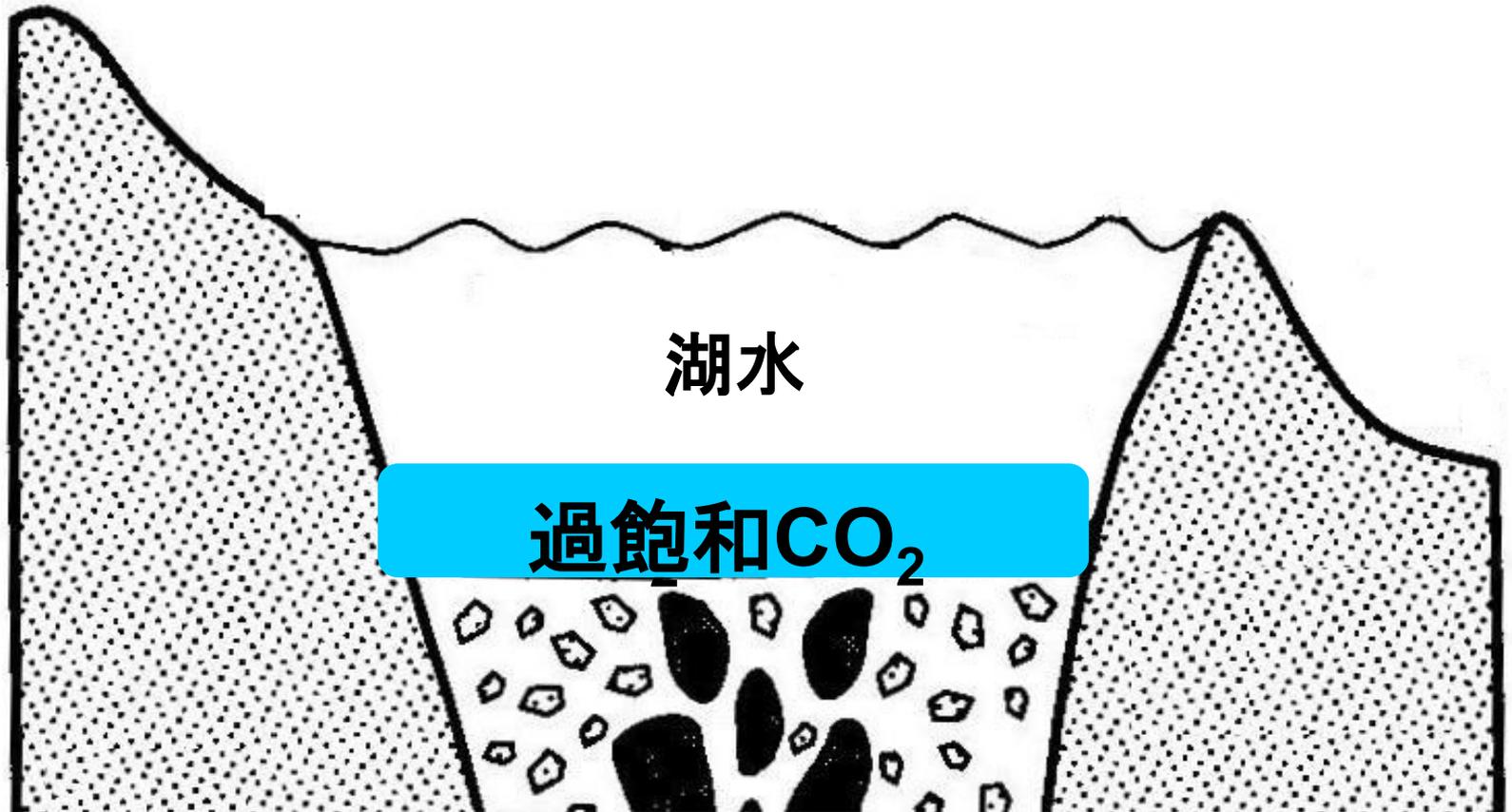
# 湖水爆発 (limnic eruption)



日下部実『湖水爆発の謎を  
解く カメルーン・ニオス湖に  
挑んだ二〇年』岡山大学出  
版会, 2010, p.51 一部改変

- 湖底にCO<sub>2</sub>が徐々に滞留し、過飽和状態に

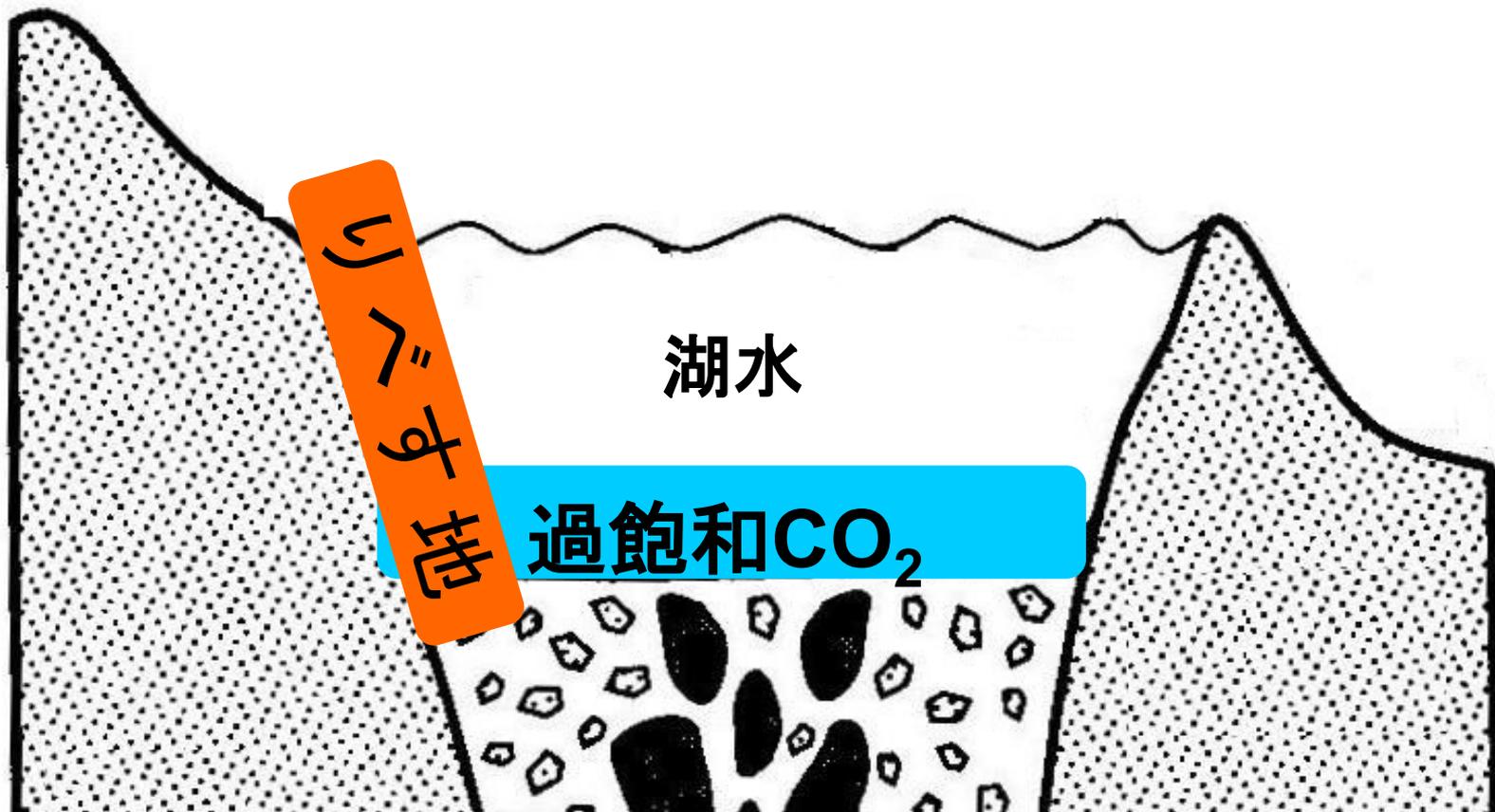
# 湖水爆発 (limnic eruption)



日下部実『湖水爆発の謎を  
解く カメルーン・ニオス湖に  
挑んだ二〇年』岡山大学出  
版会, 2010, p.51 一部改変

- 湖底にCO<sub>2</sub>が徐々に滞留し、過飽和状態に

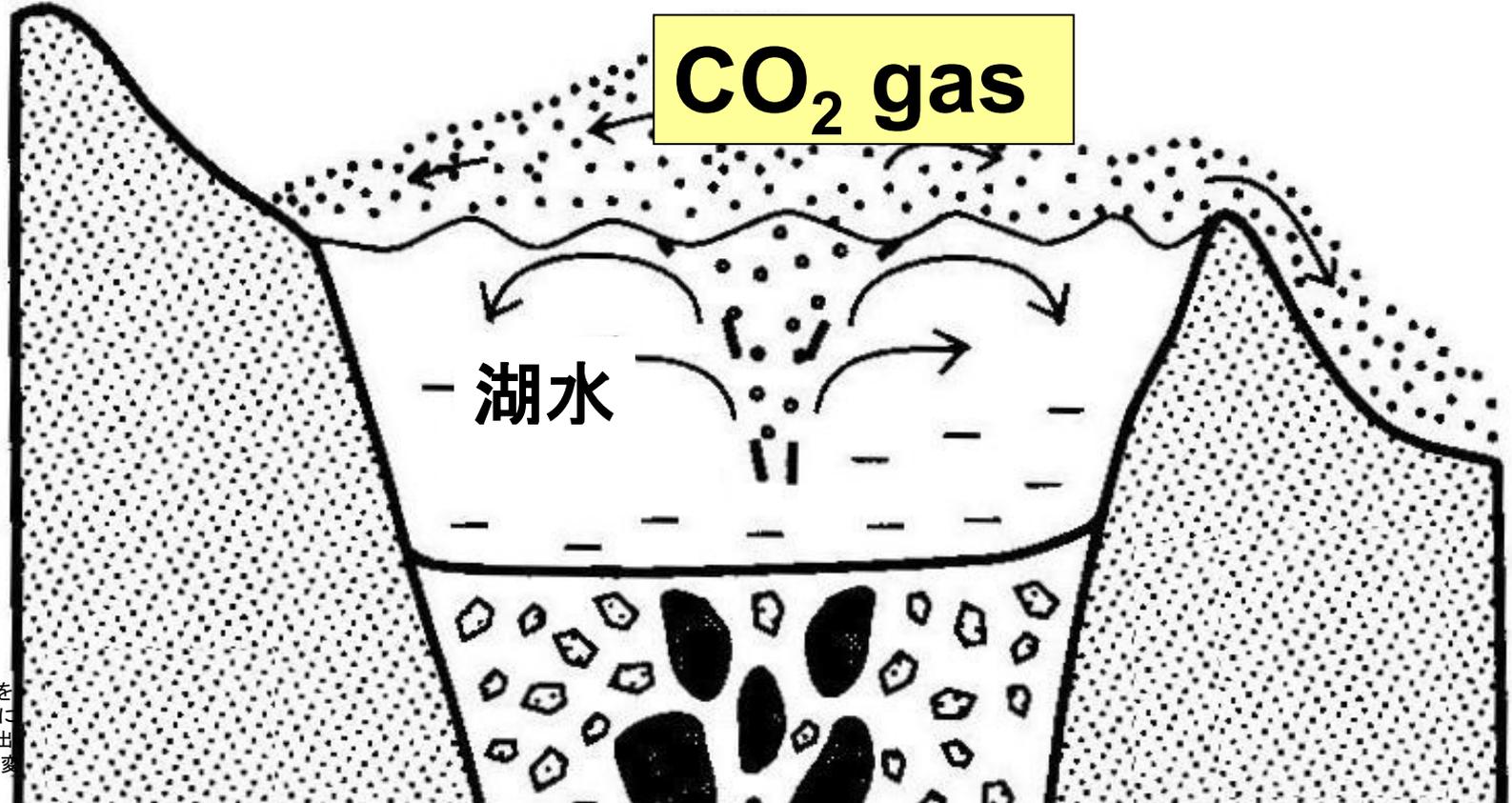
# 湖水爆発 (limnic eruption)



日下部実『湖水爆発の謎を  
解く カメルーン・ニオス湖に  
挑んだ二〇年』岡山大学出  
版会, 2010, p.51 一部改変

- 湖底にCO<sub>2</sub>が徐々に滞留し、過飽和状態に
- 「地すべり」や「小噴火」が、湖底を攪乱

# 湖水爆発 (limnic eruption)



日下部実『湖水爆発の謎を  
解く カメルーン・ニオス湖に  
挑んだ二〇年』岡山大学出  
版会, 2010, p.51 一部改変

- 湖底にCO<sub>2</sub>が徐々に滞留し、過飽和状態に
- 「地すべり」や「小噴火」が、湖底を攪乱
- 過飽和状態のCO<sub>2</sub>が泡沫となり爆発的に噴出

どちらがより合理的か？

phreatic eruption (水蒸気爆発説)

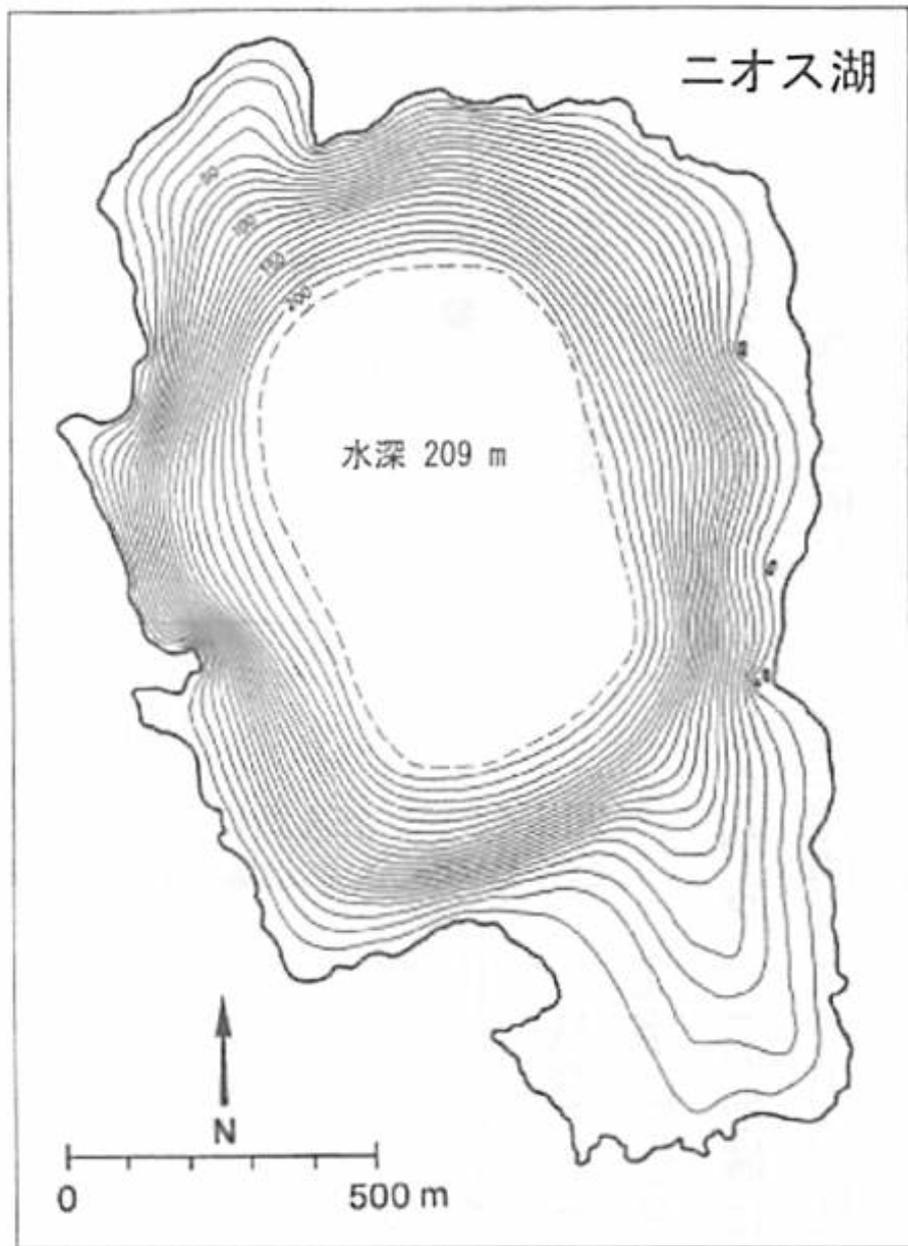
limnic eruption (湖水爆発説)

CO<sub>2</sub>の所在

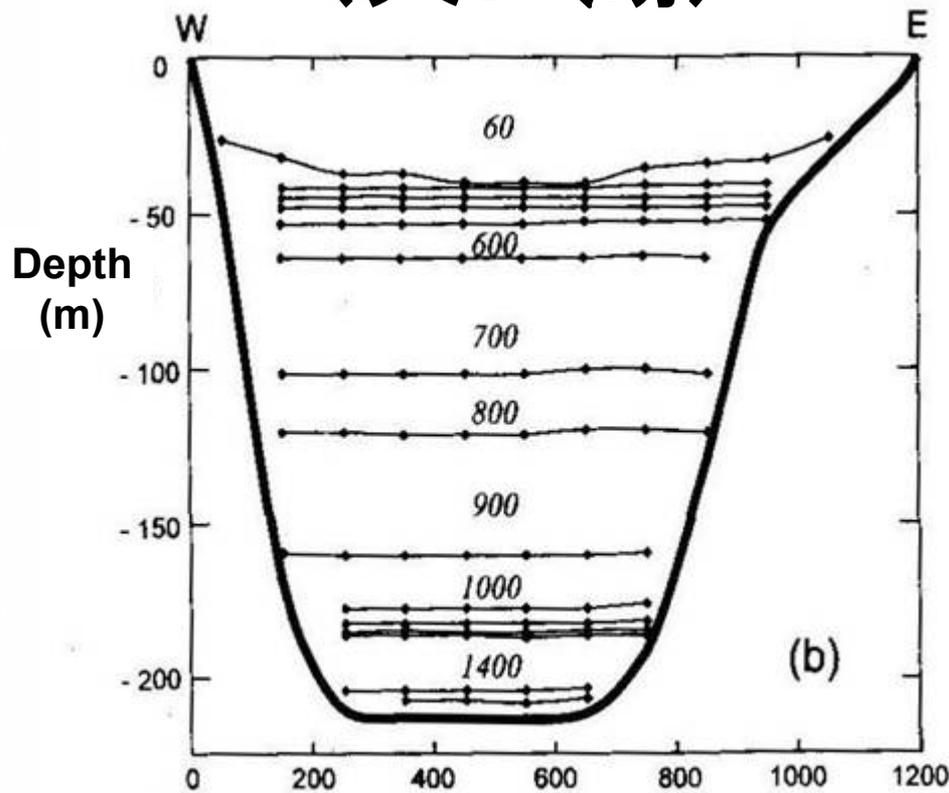
# ニオス湖での水浴



岸から5m: 深さ50mくらい



# ニオス湖 (火口湖)

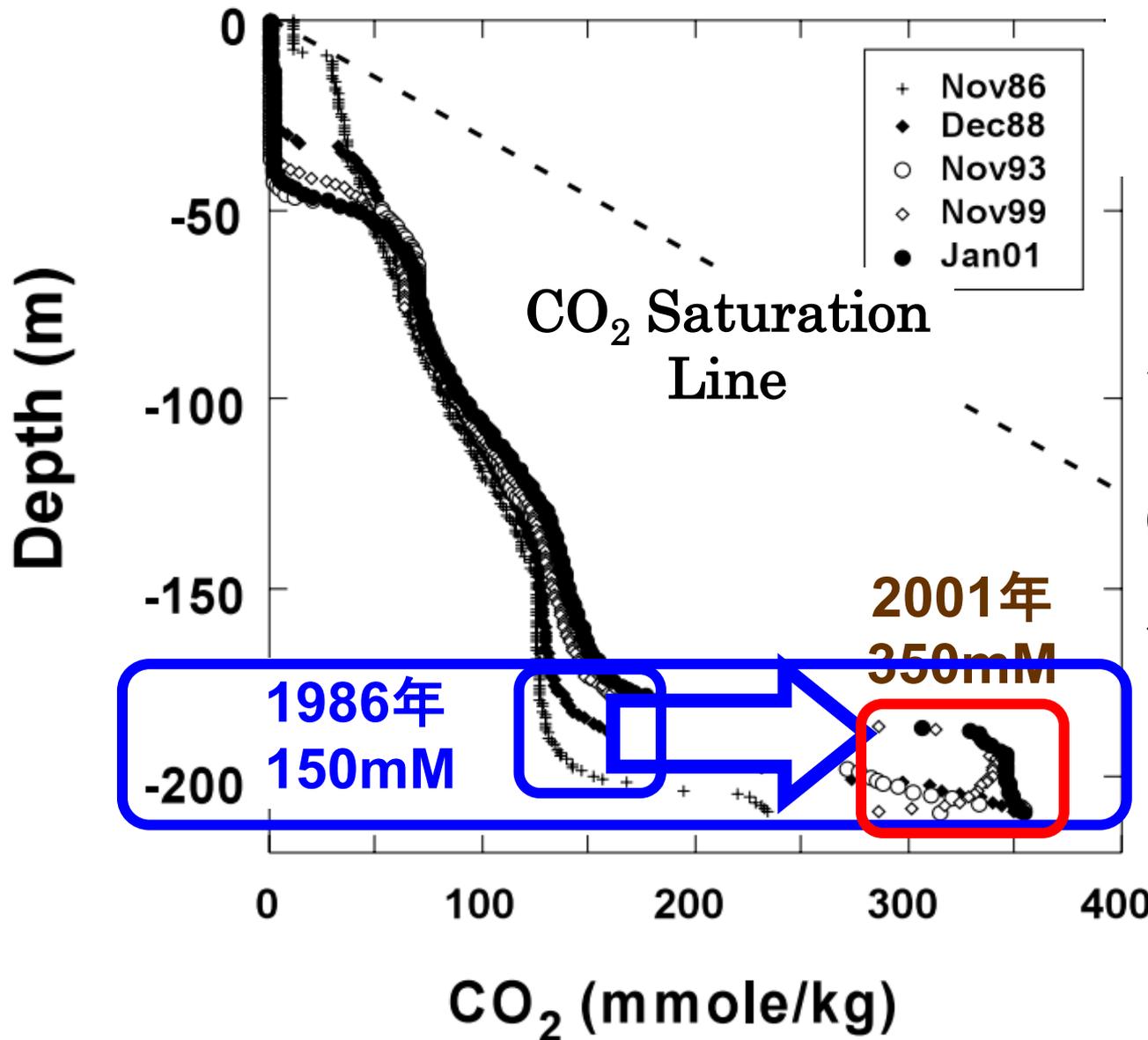


## 断面図 西 ↔ 東 (m)

日下部実『湖水爆発の謎を解く カメルーン・ニオス湖に挑んだ二〇年』  
岡山大学出版会, 2010, (左)p.107 (右)p.103

図5-11 ニオス湖の湖盆図。Tietze (1992) の図に加筆。

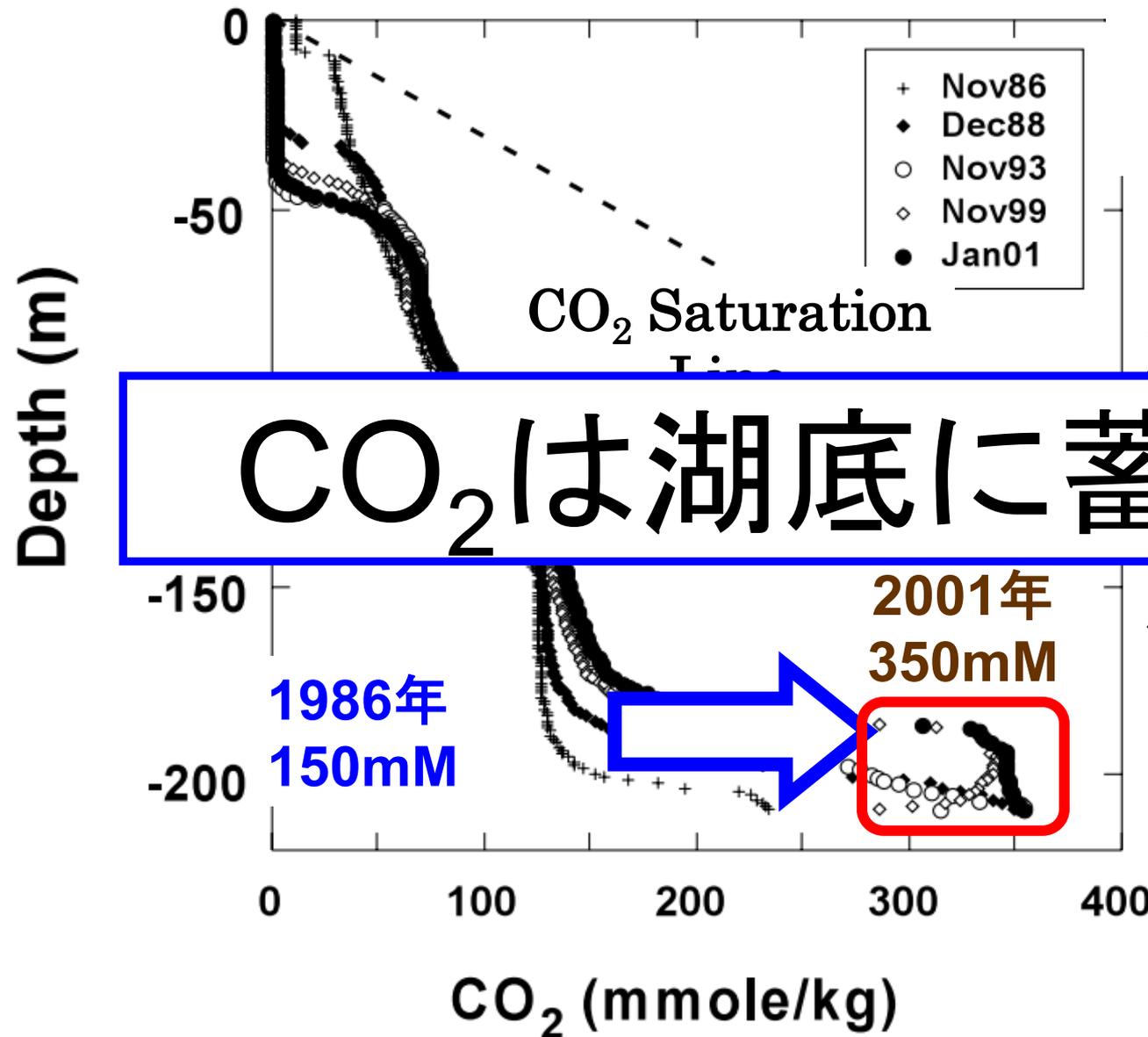
# CO<sub>2</sub> の深度 プロファイル



湖底水に大量  
かつ高濃度の  
CO<sub>2</sub> が観測さ  
れた

1986年8月の  
噴火後、湖底  
のCO<sub>2</sub> 分圧は  
徐々に増加

# CO<sub>2</sub> の深度 プロファイル



湖底水に大量  
の  
蓄積  
された

CO<sub>2</sub>は湖底に蓄積

1986年8月の  
噴火後、湖底  
のCO<sub>2</sub>分圧は  
徐々に増加

# 災害直後の状況

# ニオス湖(火口湖) 周囲の崖や湖岸の状況

- 90 m の高さに水が吹き上がった
- 大量の水が上昇し、湖全体を攪乱した
- 25m以上の津波が湖内で発生した

CO<sub>2</sub>はどのように噴出したのか？

結論

湖水爆発

# 爆発的CO<sub>2</sub>放出のメカニズム

湖水爆発 (limnic eruption)

過飽和状態となっていた湖底水中の  
CO<sub>2</sub> が爆発的に放出

湖水爆発の引き金は何か？

# 爆発的CO<sub>2</sub>放出のメカニズム

- 二酸化炭素の爆発的放出の正確な原因は未解明
- 仮説
  - マグマ熱が徐々に湖底水を加熱
  - 地すべり
  - 小規模な地震
  - 小規模な火山噴火
- 地震や火山噴火の形跡はなし
- 「地すべり」か「熱流入」が有力視

# 爆発的CO<sub>2</sub>放出のメカニズム

- 湖水爆発 (limnic eruption)
  - 湖底に液状濃縮されたCO<sub>2</sub>が短時間に爆発的に大気中に放出された
  - 世界初の事例
- 二酸化炭素の爆発的放出のトリガー
  - 「地すべり」が有力視

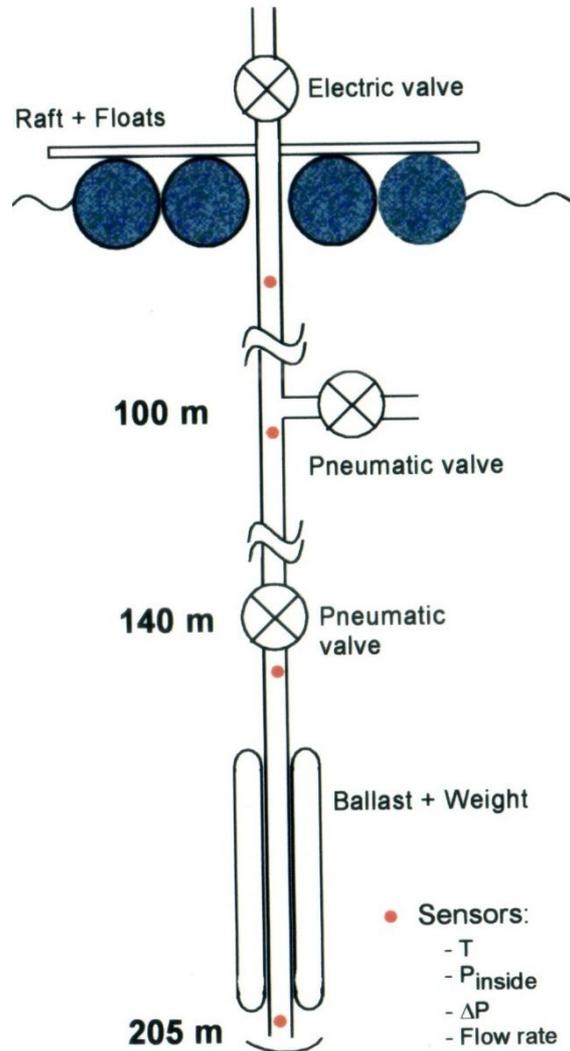
災害防止

爆発の抑制

# 災害防止

- 原因が「湖水爆発」と特定された  
→爆発の抑制が可能となった！
- 湖底のCO<sub>2</sub>を「緩やかに」放出させれば良い

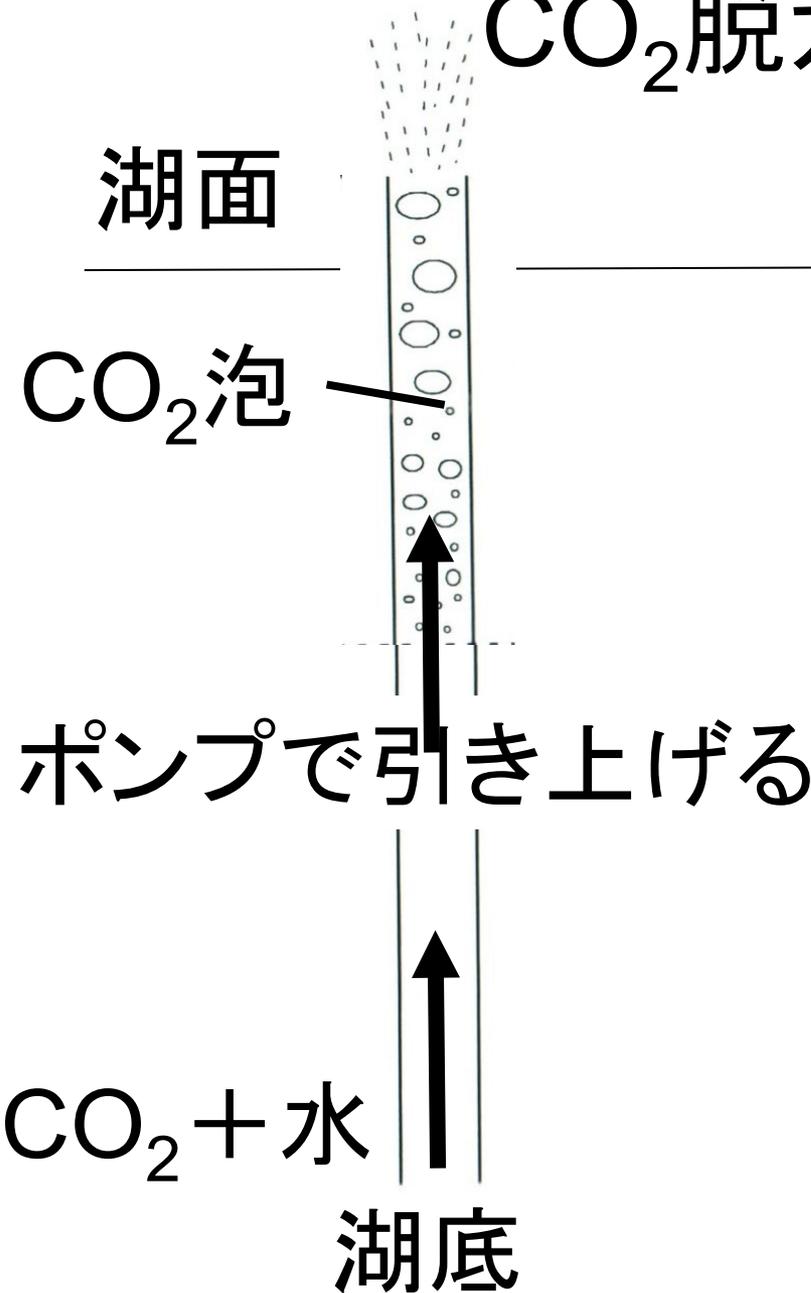
# CO<sub>2</sub>の脱ガスの仕組み



パイプを湖底まで伸ばし、ポンプで引き上げる

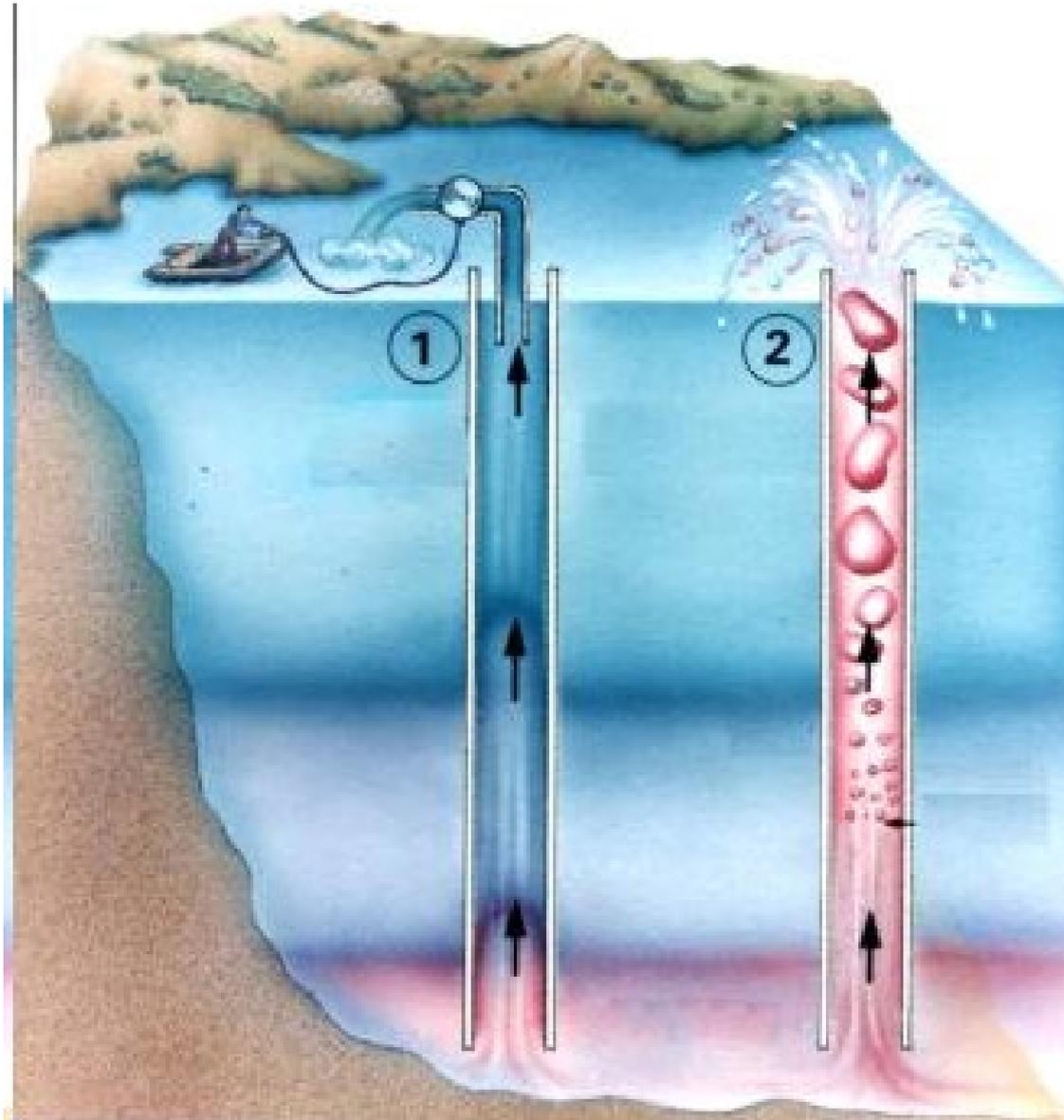
しかし継続的に動力を用い続けるのは極めて困難

# CO<sub>2</sub>脱ガスの仕組み



- 湖底までパイプをおろす
- ポンプで水を引く
- パイプ上部: 圧低下
- CO<sub>2</sub>の気泡発生
- 上層水の密度低下
- 上層水が下層水を引き上げる
- 連続的に噴出継続  
→ 動力要らず

# 脱ガスの仕組み



“The degassing procedure principle”. Degassing Lake Nyos. <http://mhalb.pagesperso-orange.fr/nyos/project/principle.htm>

# マヌーシ湖の脱ガス

# マヌーン湖



Nigeria

ニオス湖 Lake Nyos



マヌーン湖

死者 37 人 (1984年8月)

50 km

Cameroon

# マヌーン湖

モヌン湖 カメルーン

# マヌーン湖

1 km

921 m

Image © 2012 GeoEye

Google earth

# マヌーン湖

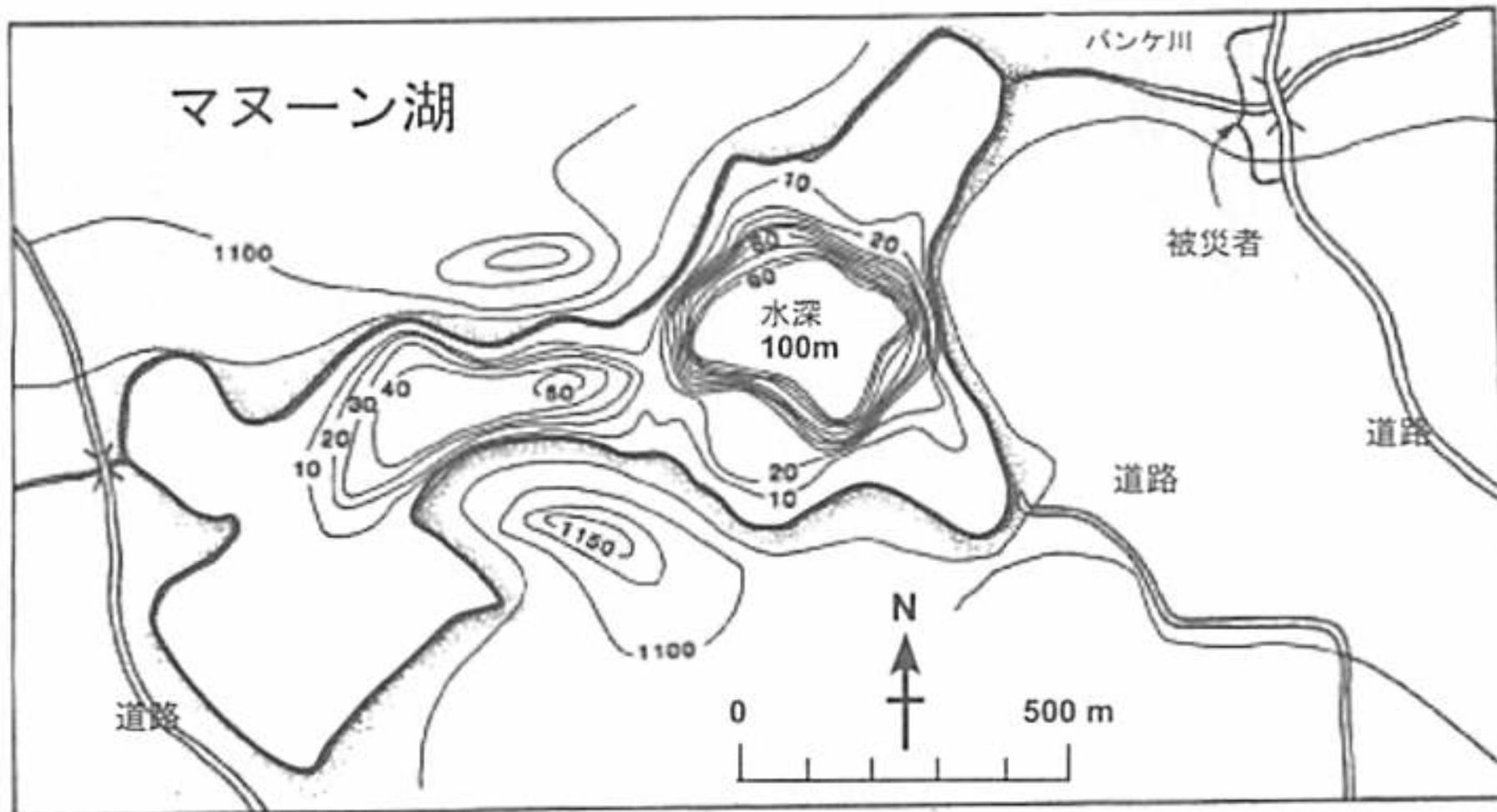


図 5-13 マヌーン湖の湖盆図。Sigurdsson et al. (1987) の図に加筆。

# マヌーン湖



2011年01月17日撮影

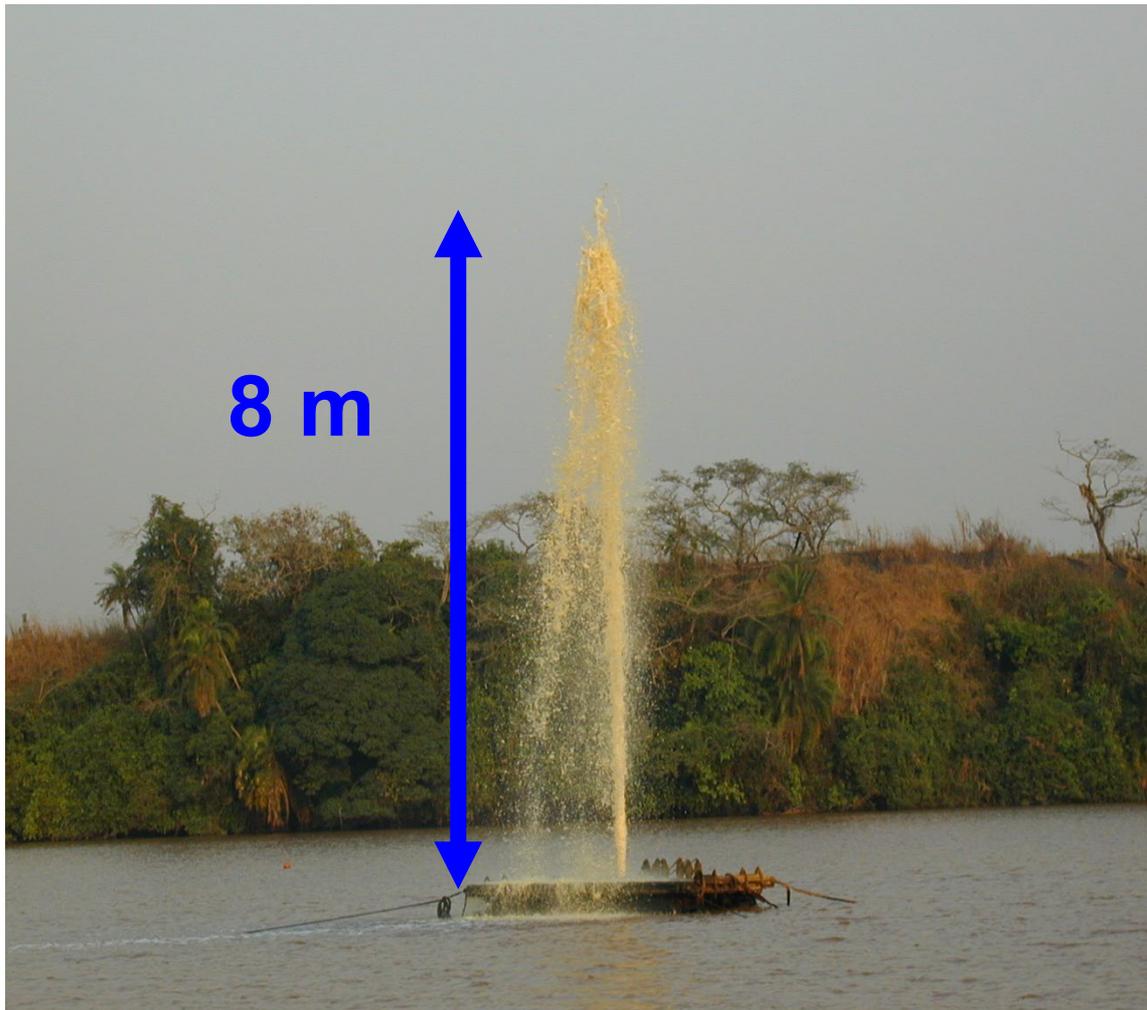
# マヌーオン湖の脱ガス(パイプ3本)

- 脱ガスパイプの設置

- 2003年: 1本

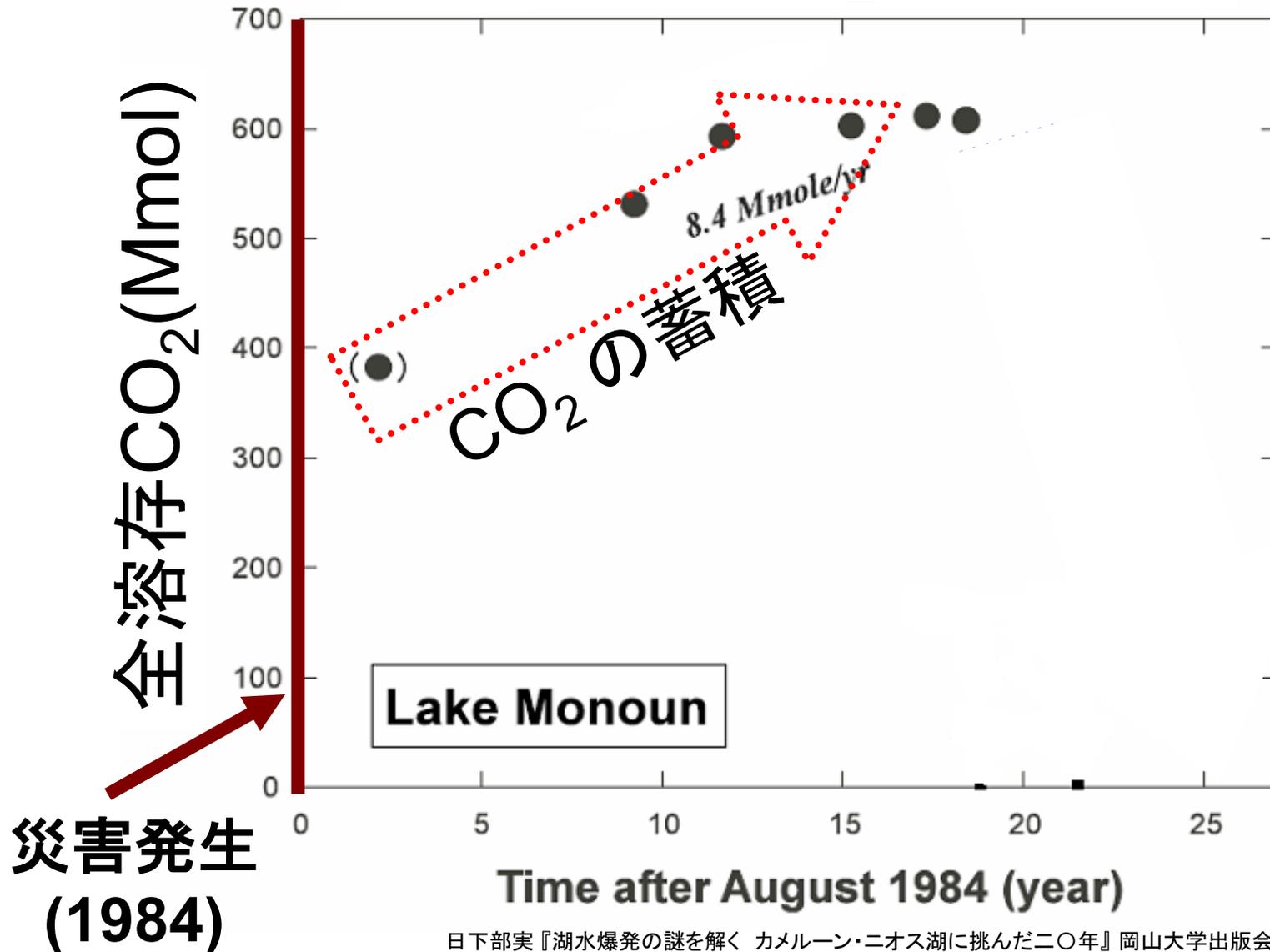
- 2006年: 2本

# マヌーン湖の脱ガス

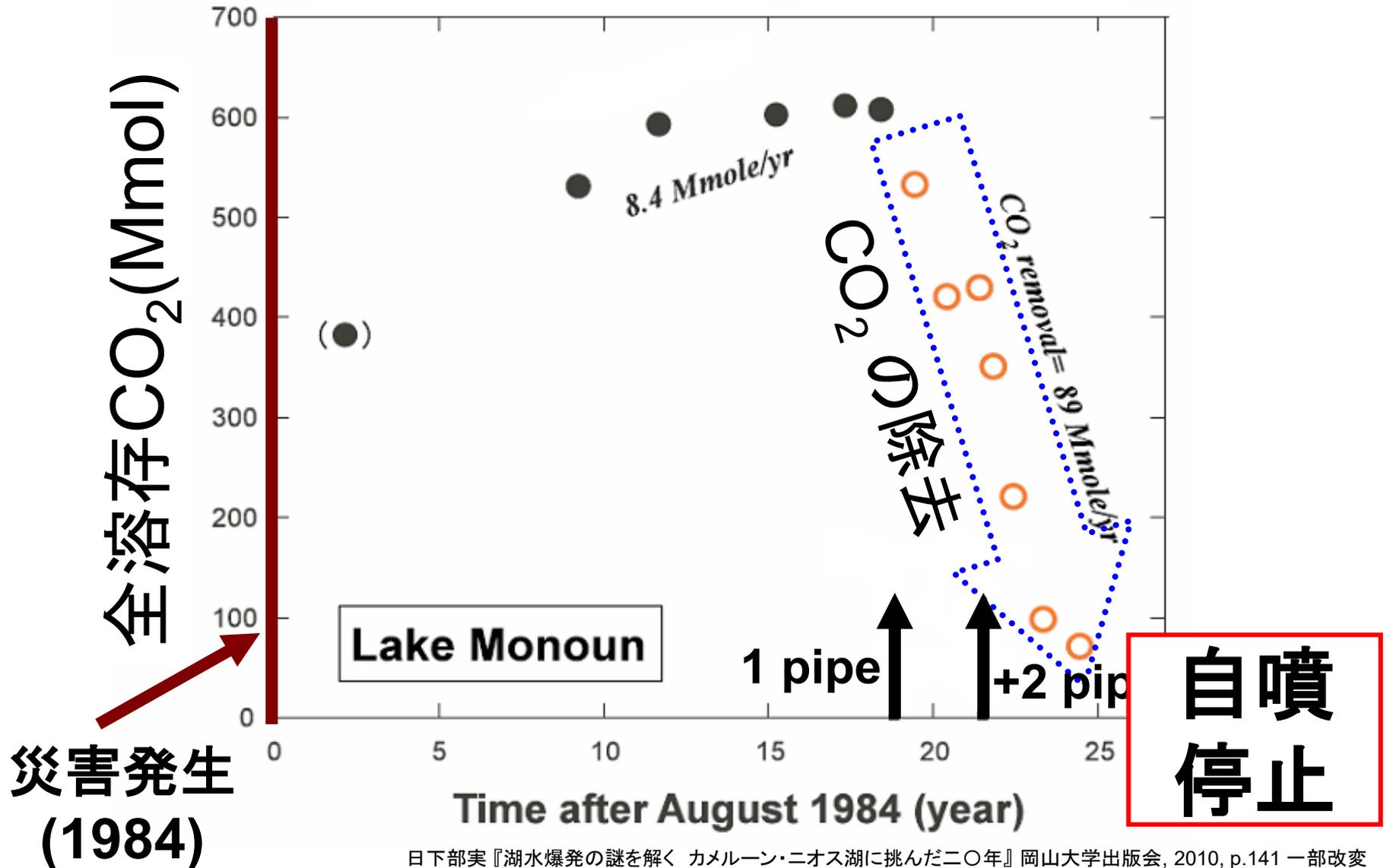


マヌーン湖 2005年1月

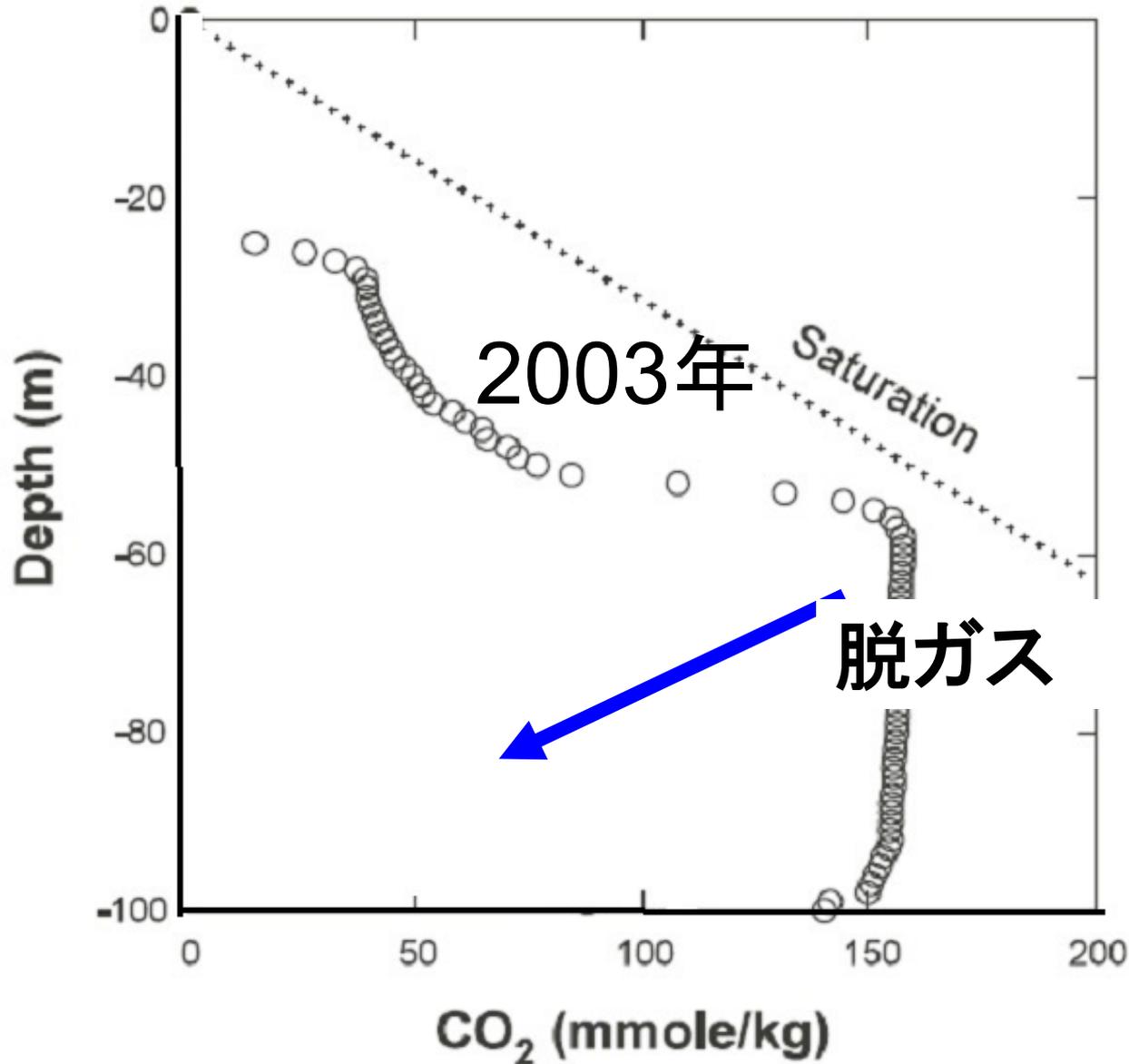
# マヌーン湖における脱ガスの効果 湖底水のCO<sub>2</sub>濃度変化



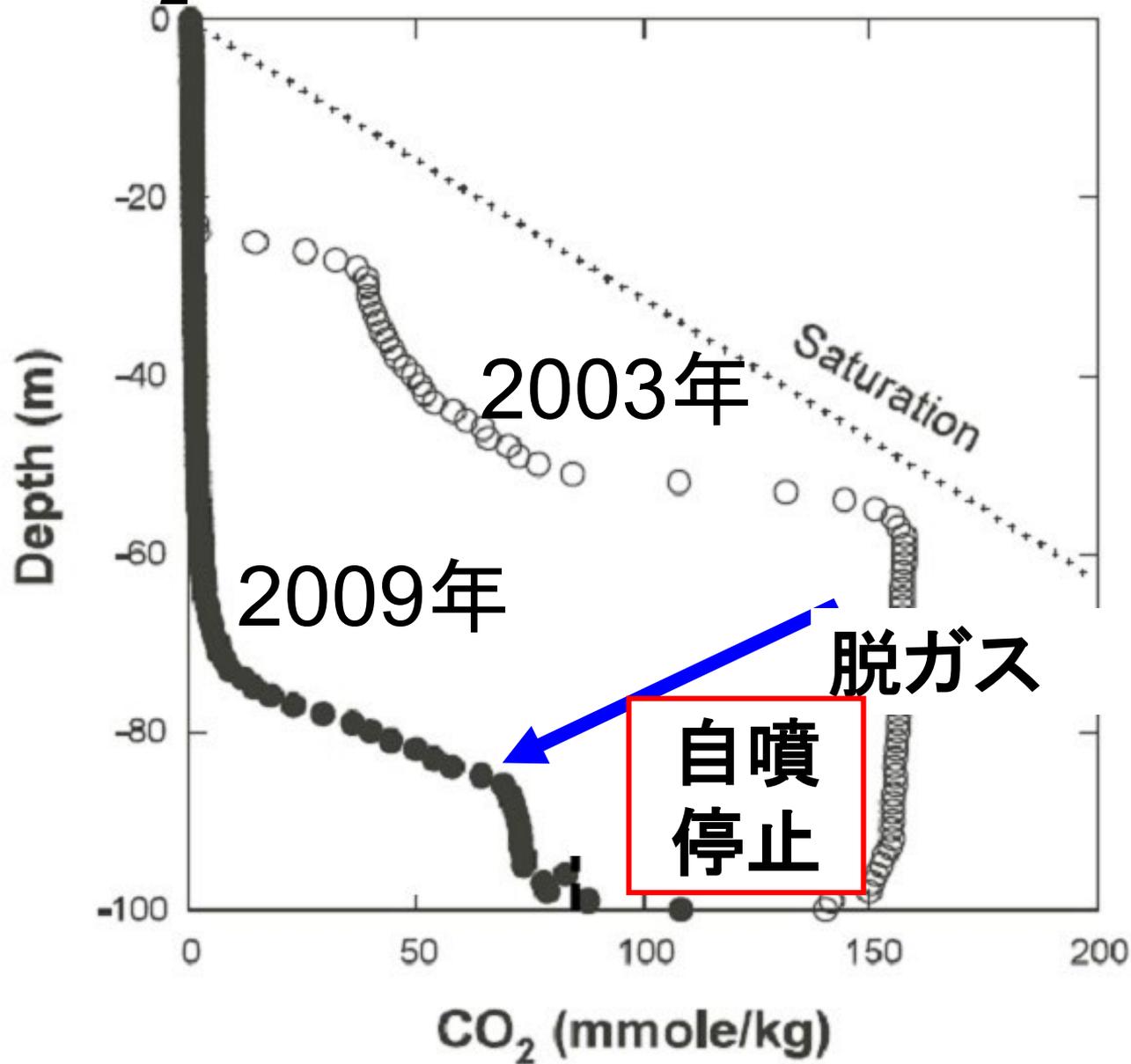
# マヌーン湖における脱ガスの効果 湖底水のCO<sub>2</sub>濃度変化



# CO<sub>2</sub> 深度別濃度分布 (マヌーン湖)

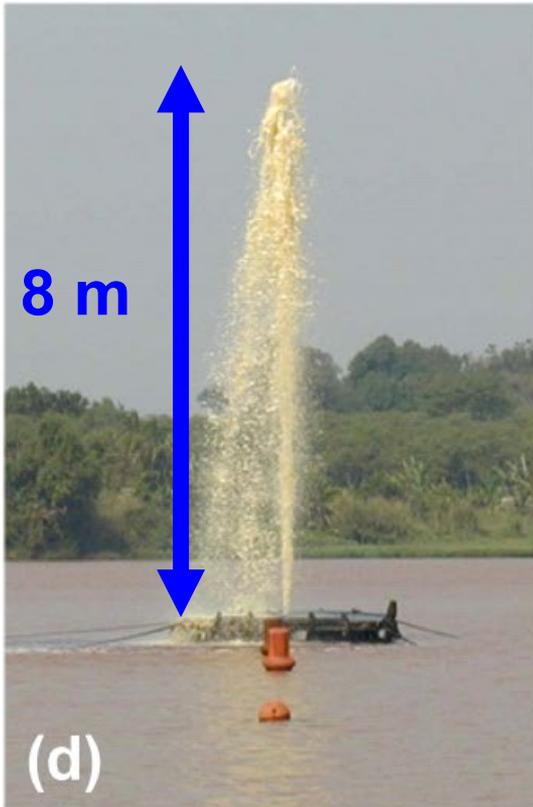


# CO<sub>2</sub> 深度別濃度分布 (マヌーン湖)



脱ガスにより、マヌーン湖における湖底水の  $\text{CO}_2$  濃度は急激に減少

# マヌーン湖の脱ガス



**January 2004**



**January 2005**



**January 2009**

# マヌーン湖 脱ガス開始後8年

Movie

20110117\_03 Lake Monoun 到着 (01) 噴水停止  
中.MP4







# Lake Monounにおける脱ガス - 脱ガス開始8年後 -



January 2011

# マヌーソン湖の脱ガス

- 湖底水のCO<sub>2</sub>濃度が低下
  - 脱ガスパイプの自噴は2011年までに停止
  - 新たな湖水爆発の危険性は遠のいた

# ニオス湖の脱ガス

2001年に1本設置

# ニオス湖



Nigeria

ニオス湖 Lake Nyos

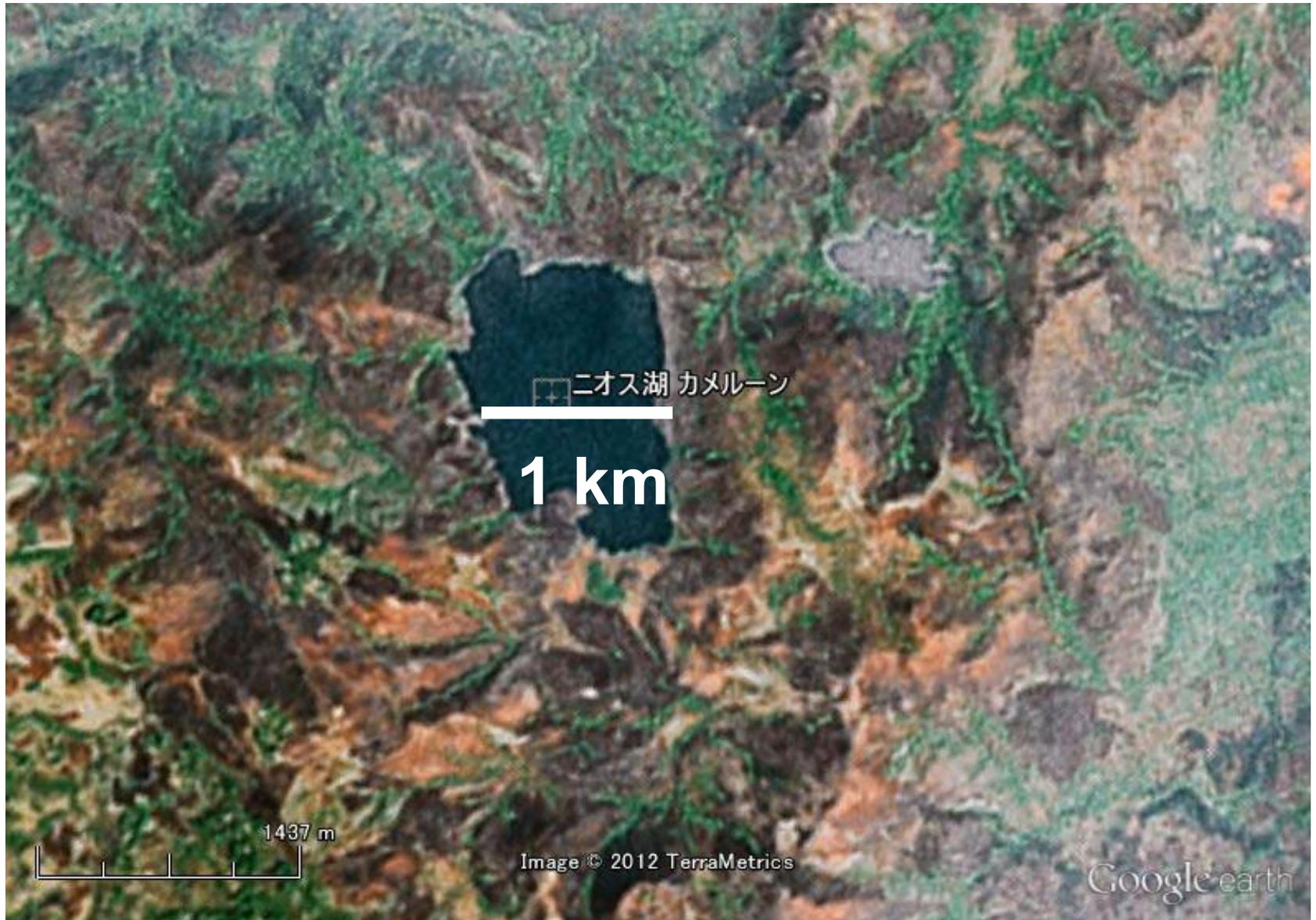
死者1,746 人(1986年8月)

Lake Monoun

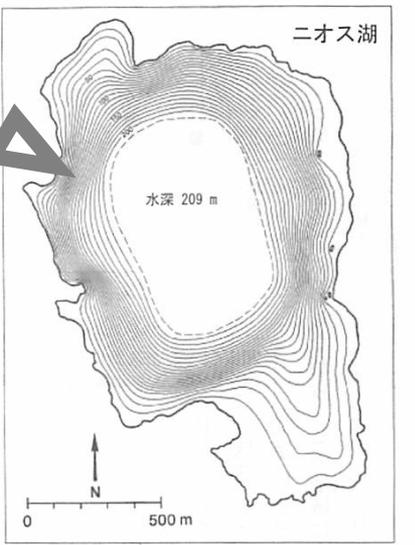
50 km

Cameroon

# ニオス湖



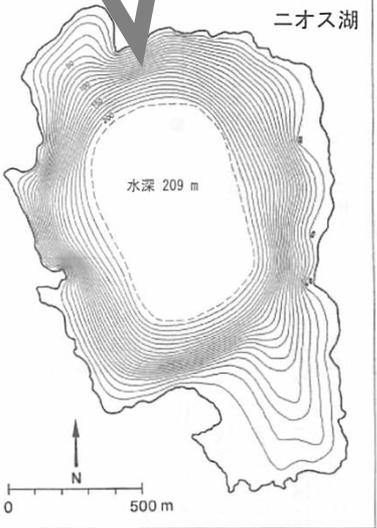
# ニオス湖



日下部美『湖水爆発の謎を解く  
カメルーン・ニオス湖に挑んだ二〇  
年』岡山大学出版会, 2010, p.107



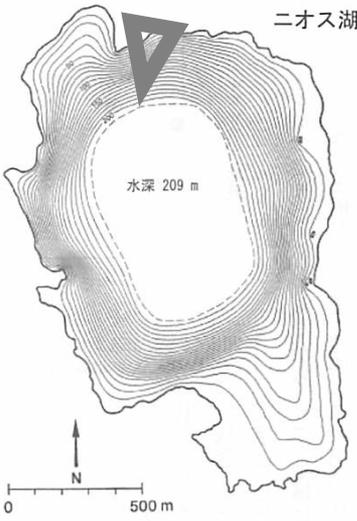
ニオス湖



ibid.



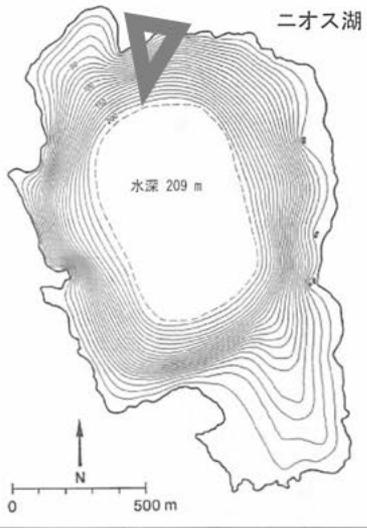
ニオス湖



Ibid.



ニオス湖



ibid



# Video 01

01 ニオス湖 ガス抜き噴水への接近



2011年12月13日  
二才入湖中央部のガス抜き噴水



噴水背面の崖の高さは 120m-140m



噴水の高さは、22mから23m

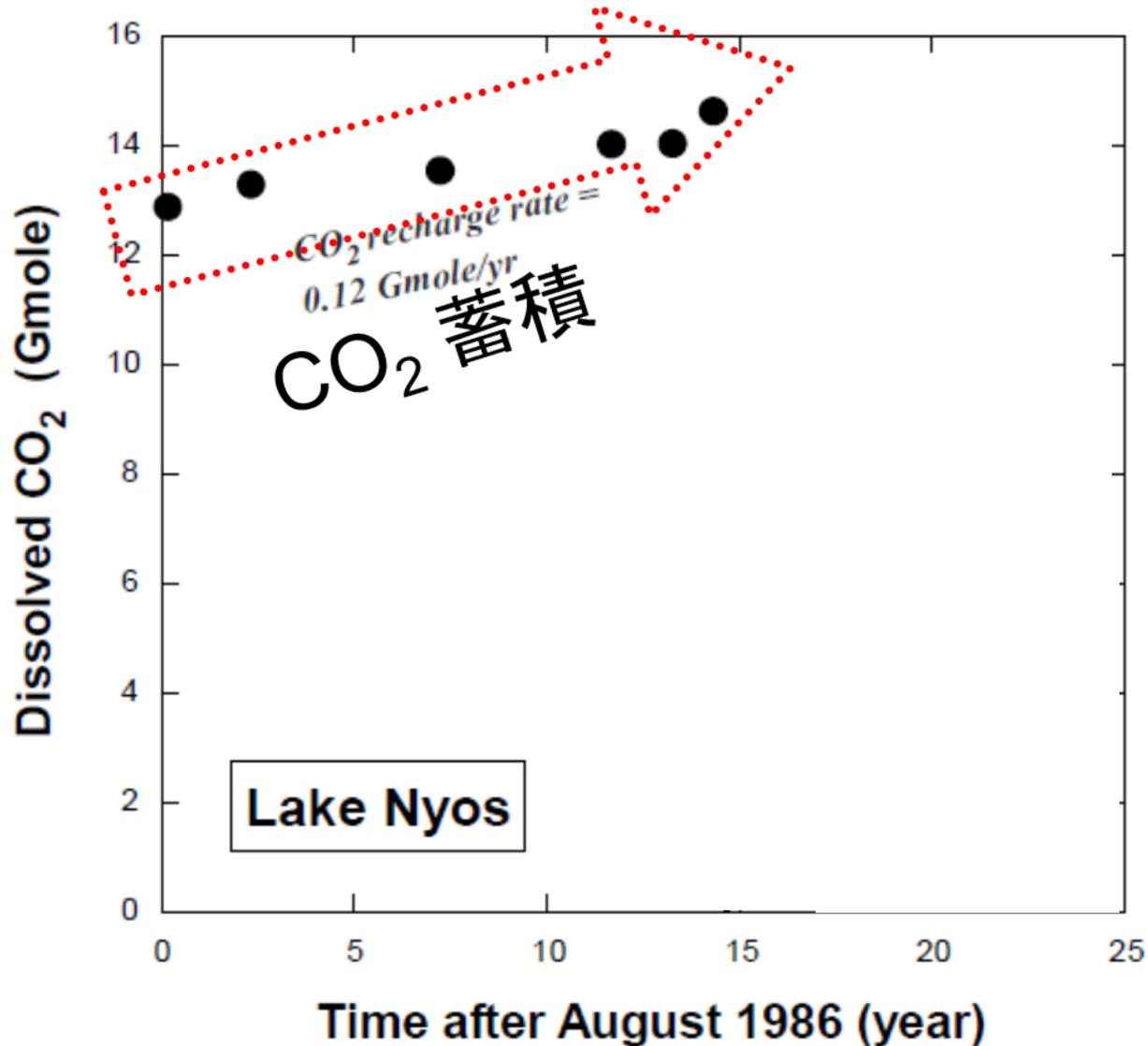
一本の噴水が吹き上がってから  
10年

# 脱ガスの効果

ニオス湖

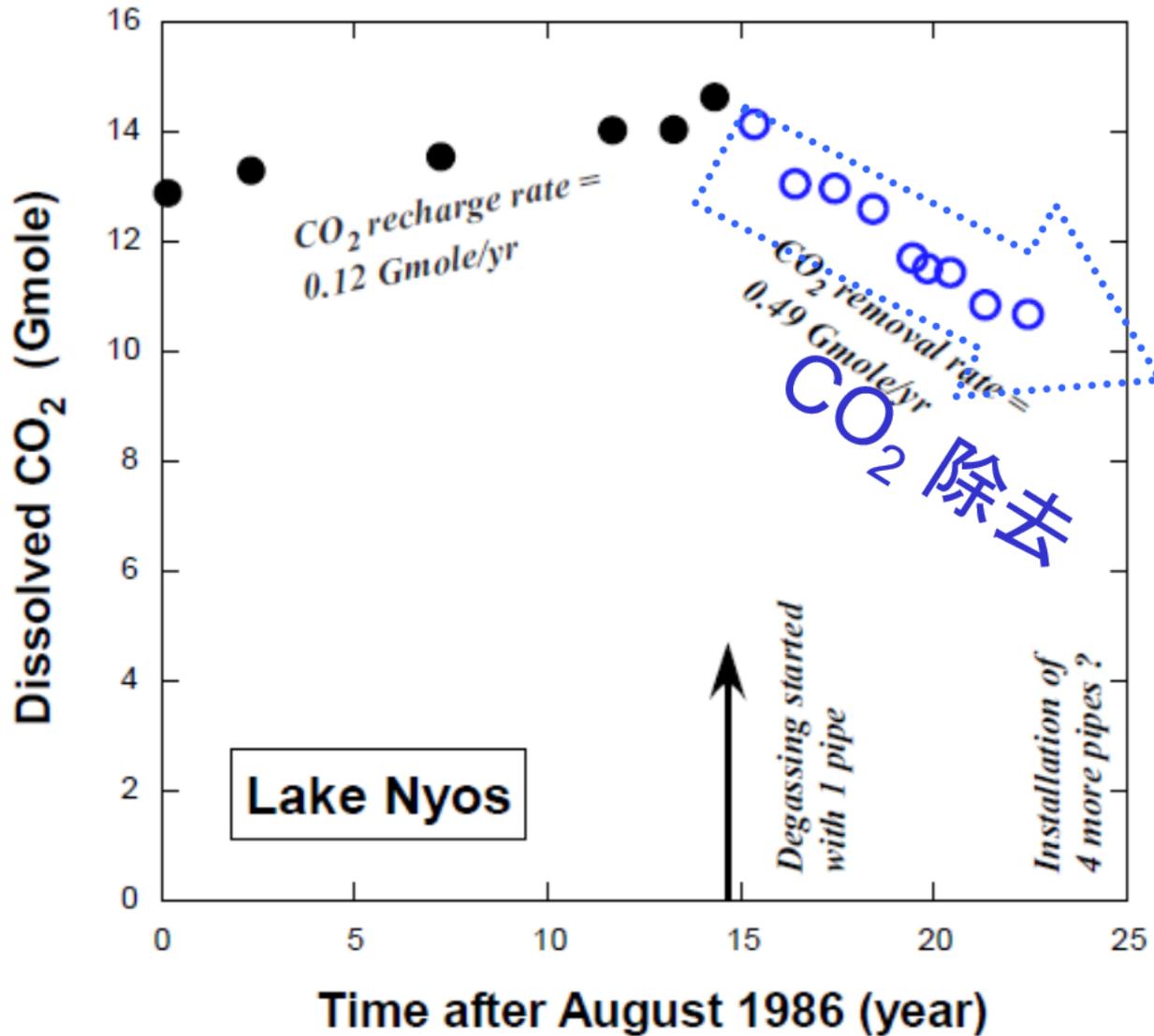
# ニオス湖の脱ガス

ニオス湖の全溶存CO<sub>2</sub>量

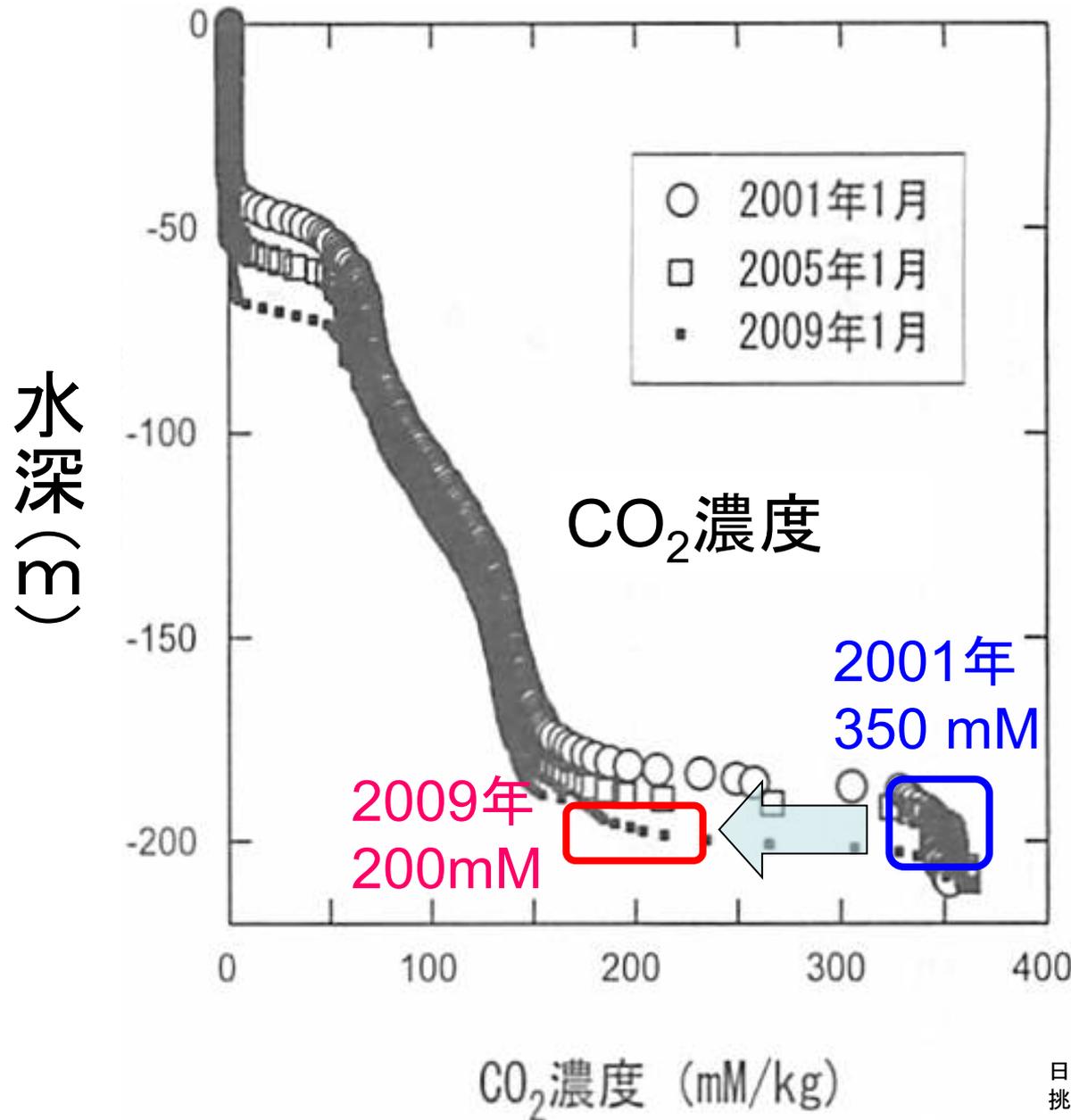


# ニオス湖の脱ガス

## ニオス湖の全溶存CO<sub>2</sub>量



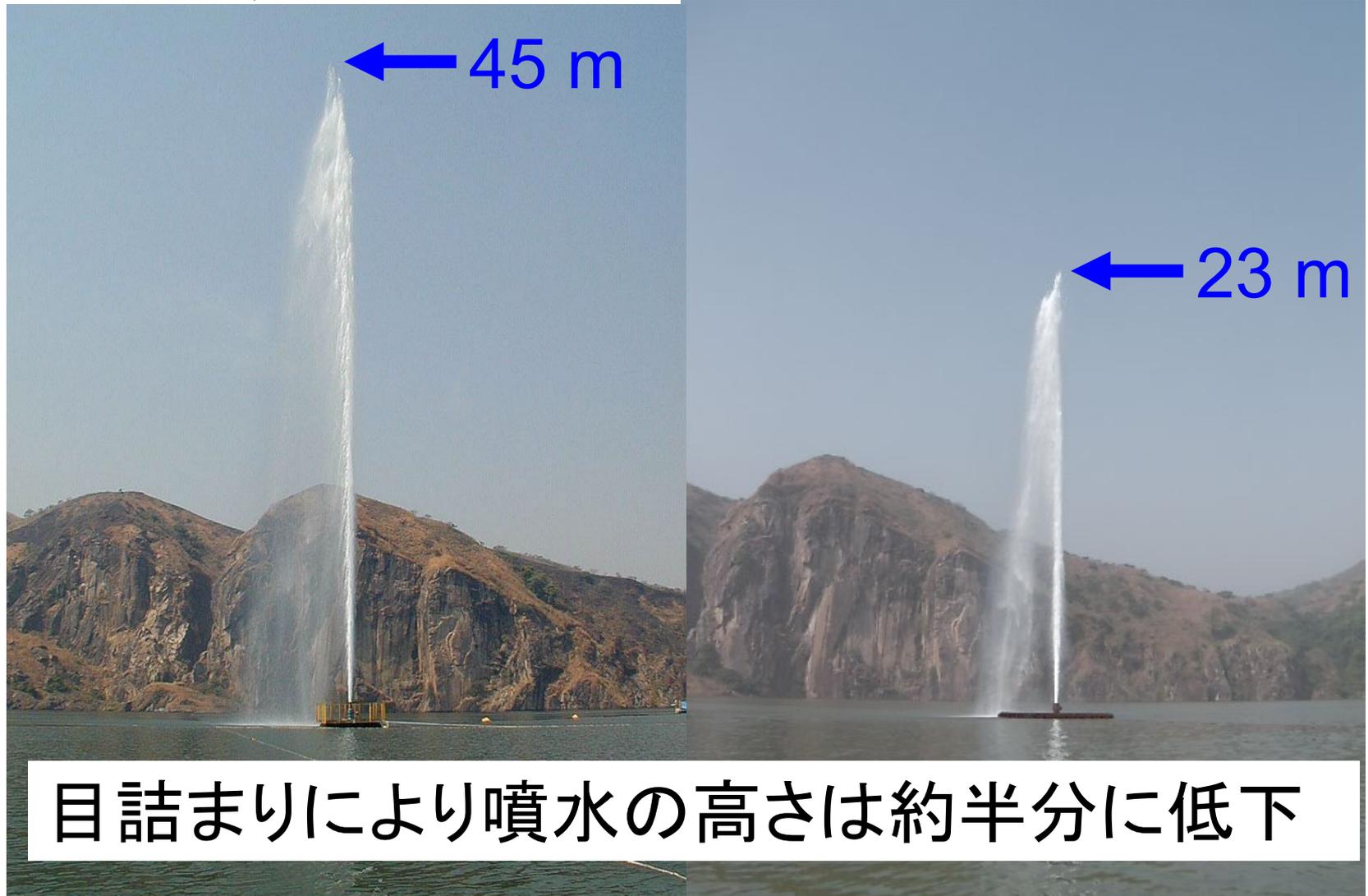
# ニオス湖におけるCO<sub>2</sub>濃度の経年変化



湖底付近の  
CO<sub>2</sub>濃度は  
減少

# ニオス湖の脱ガス - 10 年後 -

(左)日下部実『湖水爆発の謎を解く カメルーン・ニオス湖  
に挑んだ二〇年』岡山大学出版会, 2010, p.136



2001.01

2011.12

# ニオス湖の脱ガス

- 脱ガスパイプの設置
  - 2001年1月 1本
- 二酸化炭素の除去率は、湖底からの再充填率よりも「若干」大きかった
- パイプに錆がつき、脱ガスの速度が低下

# 合計3本の脱ガス噴水 (2011年12月)



# 三本の脱ガスパイプ設置 (Dec 16, 2011)

20111217\_20 Nyos Lake 3本の噴水 (1).MP4



2011年12月15日に吹き上がった2本目の噴水  
高さ19m



2001年から10年間吹き上げ続けている  
1本目の噴水 高さ23メートル

A photograph showing two water fountains spraying upwards from a sandy beach. The water jets are tall and narrow, reaching a height of approximately 20 meters. The background is a dark, textured wall, possibly a cliff or a large rock formation. The overall scene is captured in a slightly grainy, low-angle shot.

2011年12月16日に吹き上がった  
最も新しい3本目の噴水 高さ20m

# 合計3本の脱ガス噴水 (2011年12月)



# ニオス湖の脱ガス

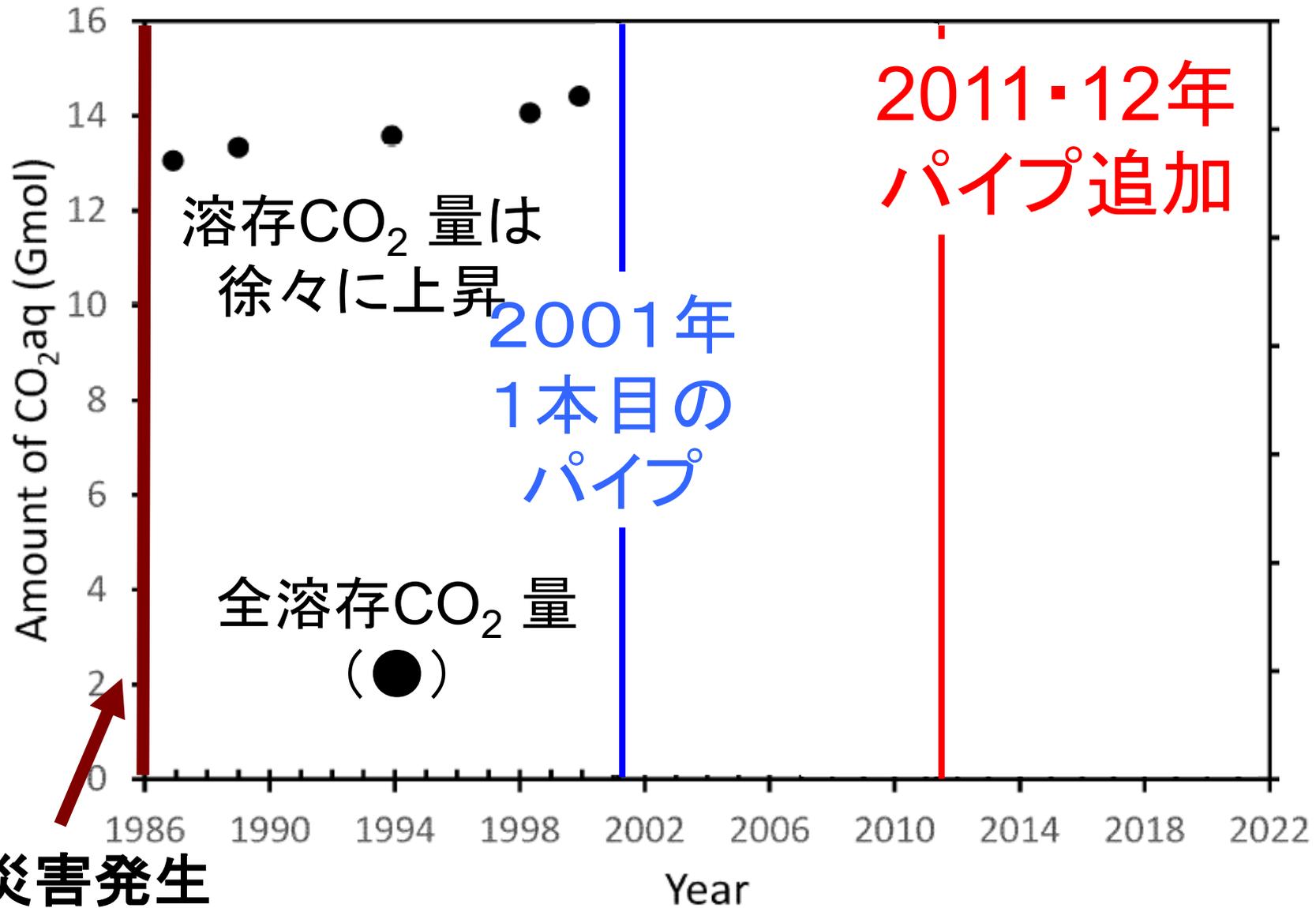
- 脱ガスパイプ:2001に1本
- 脱ガス速度 除去速度  $\div$  蓄積速度
- 異物の詰まりにより、自噴速度が低下
- 追加の脱ガスパイプの設置
  - 2011年12月 2本 … 失敗
  - 2012年02月 2本 … 成功

三本の噴水が吹き上がってから  
1年後

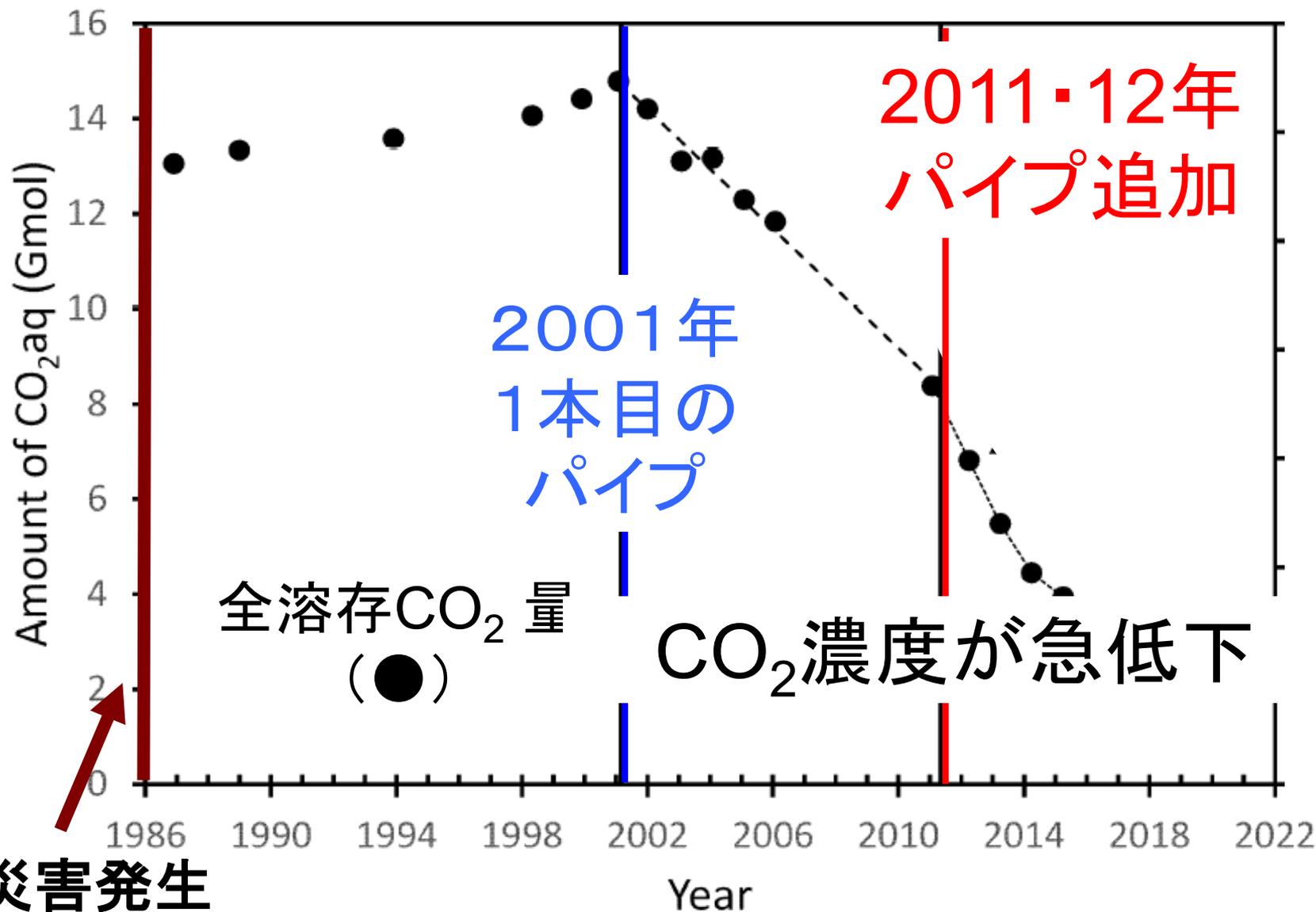




# ニオス湖の溶存CO<sub>2</sub>量の経年変化



# ニオス湖の溶存CO<sub>2</sub>量の経年変化



# ニオス湖の変遷

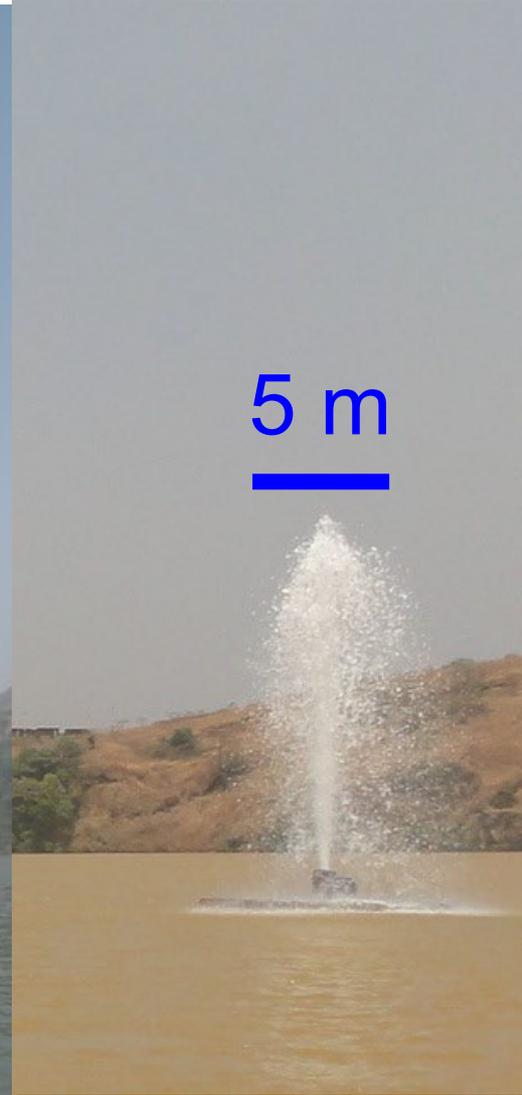
(左)日下部実『湖水爆発の謎を解く カメルーン・ニオス湖に挑んだ二〇年』岡山大学出版会, 2010, p.136



2001.01



2011.12



2013.01

# ニオス湖の脱ガス(パイプ3本)

- 脱ガスパイプの設置
  - 2001年 1本
  - 2012年 2本(※2011年12月設置は失敗)
- 三本の脱ガスパイプ設置1年後
  - 噴水の高さが急低下
- 噴出力低下の原因
  - 湖底水中のCO<sub>2</sub>濃度が低下
  - ⇒ 脱ガスパイプは有効に機能
- 当面の湖水爆発の危険性は低下

すべて順調！？

脱ガスポンプ2本の追加  
2011年12月16日

Video02

02 ニオス湖\_3本のガス抜き噴水

Just after the two additional pipes  
installation; December, 2011



その1年後

# Lake Nyos January, 2013

Video 06

Reddish Surface Water of  
Lake Nyos







# ニオス湖の経年変化



**2011.12**



**2013.01**

# 追加パイプの Before and After



2011.12 追加パイプ設置直前



2013.01 追加パイプ設置後1年

# 3本の脱ガスパイプ設置 一年後

湖水表面の色  
赤褐色に変化

何がニオス湖の表面を赤褐色に  
変化させたのか？

# Video 03

## ニオス湖底水が入った 鋼鉄製容器の開放

03 20170822 ver. ニオス湖 水深  
208mの水



ニオス湖水深208mの水を  
金属製の密閉容器に採取



水圧で圧縮された  
CO2により内部の水が  
勢い良く噴出

湖底水は透明なソーダ水？

無色透明

CO<sub>2</sub>以外に溶解している物

# Video 04

## 湖底水

### Delicious SODA?

04 20111214\_95 Nyos湖底208m  
の水を飲んだ



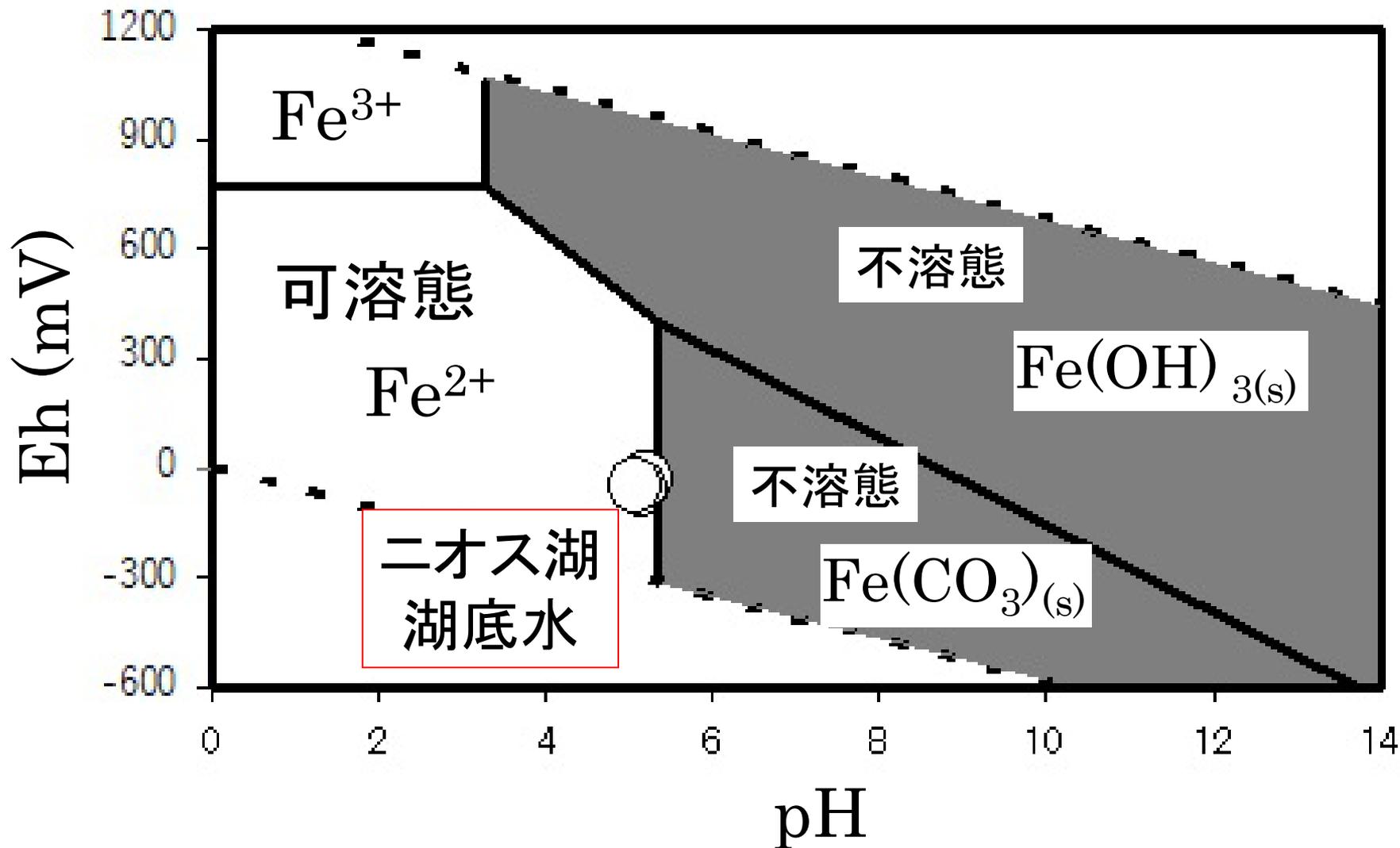




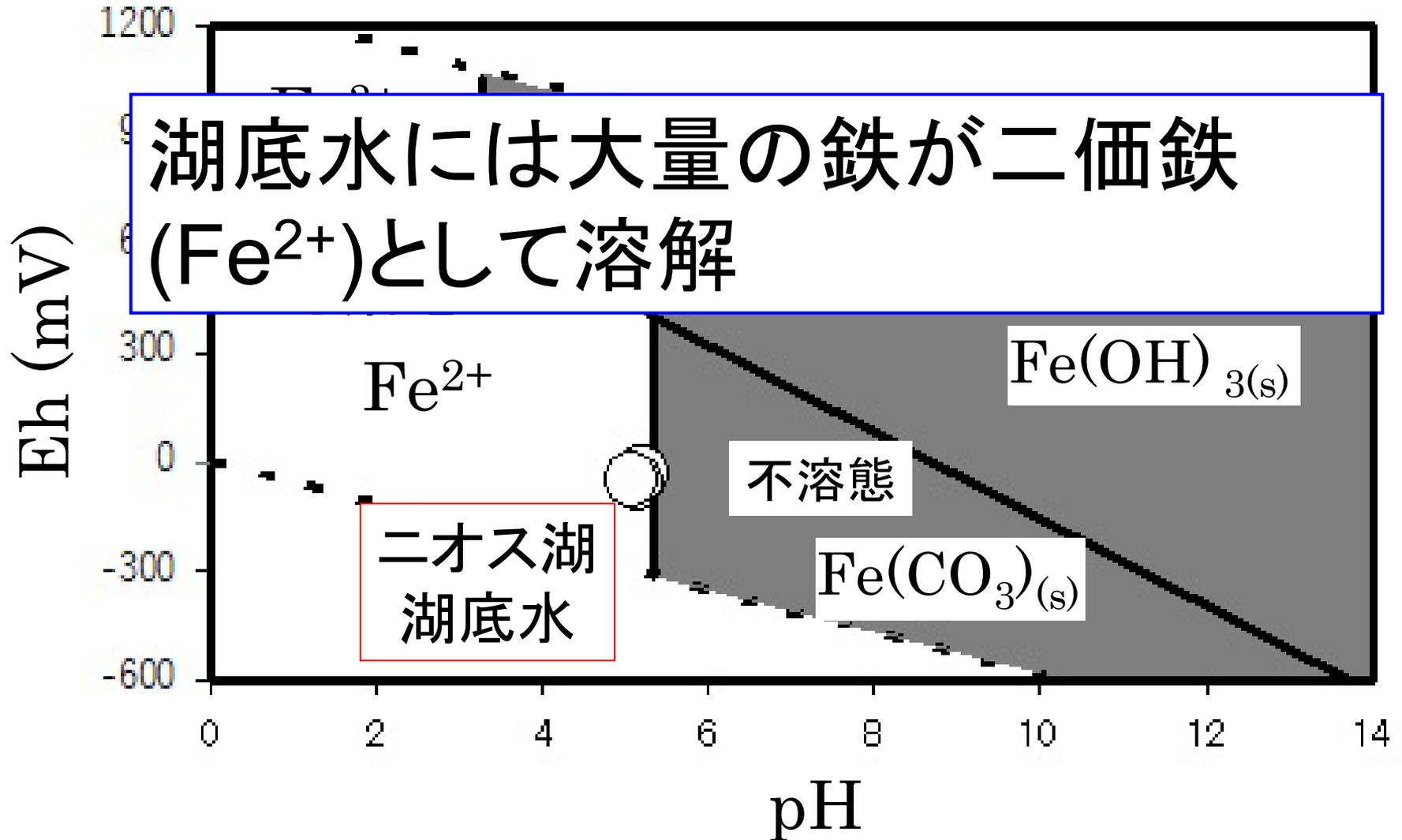
何が起きたのか？

何がニオス湖表面を茶褐色にした  
のか？

# ニオス湖・湖底環境 pH-ORP Diagram



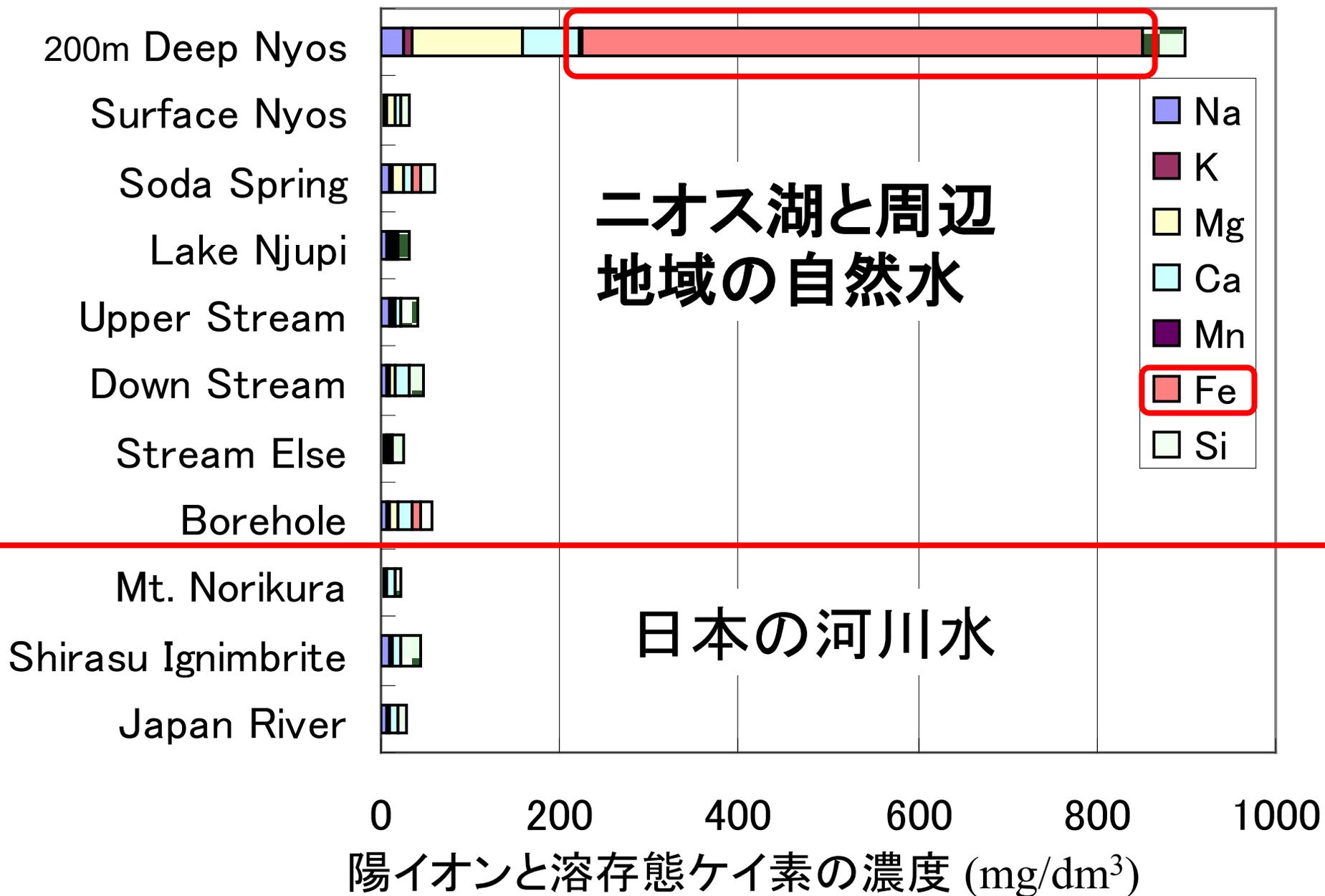
# ニオス湖・湖底環境 pH-ORP Diagram



# どのようにしてニオス湖湖底水に溶存態鉄が貯留したのか？

- 基盤岩：玄武岩
  - 鉄分を多く含む
- 湖底水には過飽和状態の二酸化炭素
- 炭酸 ( $\text{CO}_3^{2-}$ )、炭酸水素 ( $\text{HCO}_3^-$ ) が玄武岩と反応
- 玄武岩中の鉄分が湖底水に二価鉄 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) として溶解

# 溶存成分（陽イオンとケイ素）



溶存態二価鉄 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) を含む湖底水  
は大気下に運ばれるとどうなるか？

Video 07

05 20170822 ver. ニオス湖 水深  
208mの水(穴澤) - trimmed

A hand is holding a clear plastic water bottle with a white label. The label features a green mountain range and the word "Vermont" in red. Below the mountain, it says "Purified Water". The bottle is positioned over a brown and tan patterned surface, which is a printed circuit board (PCB). A silver adjustable wrench is lying on the PCB in the foreground. The background shows a yellow surface and a blue object.

Vermont

1.68E751 2008 7/21



Supermont

Natural Mineral Water

Natural Mineral Cameroon

Authorized by Decree No. 84/1110 on 27/08/1984

この炭酸水には透明な二価鉄が  
大量に含まれている

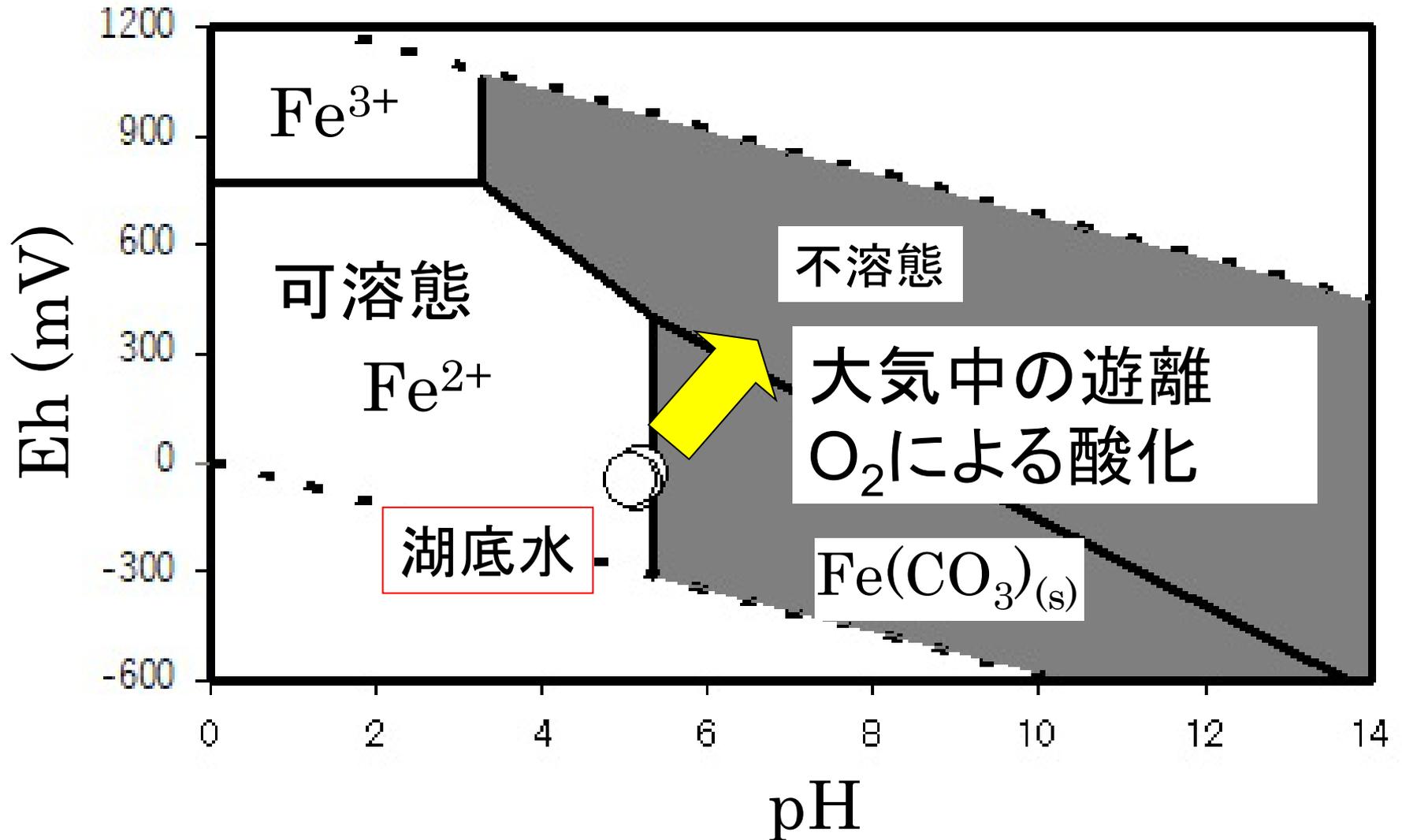


数日後には赤茶けた水となった



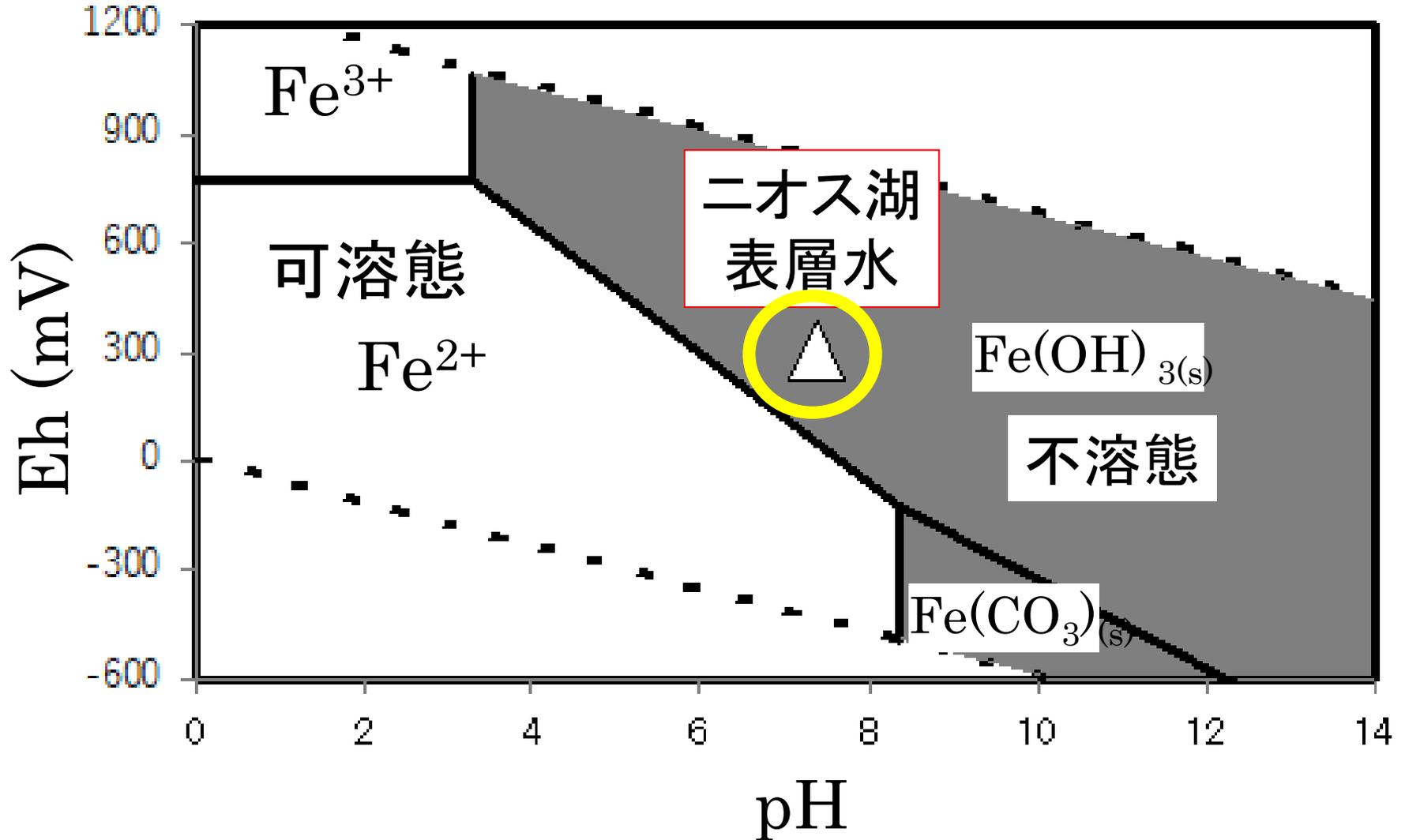
赤褐色のコロイド状の三価鉄となったためである

# ニオス湖・湖底環境 pH-ORP Diagram

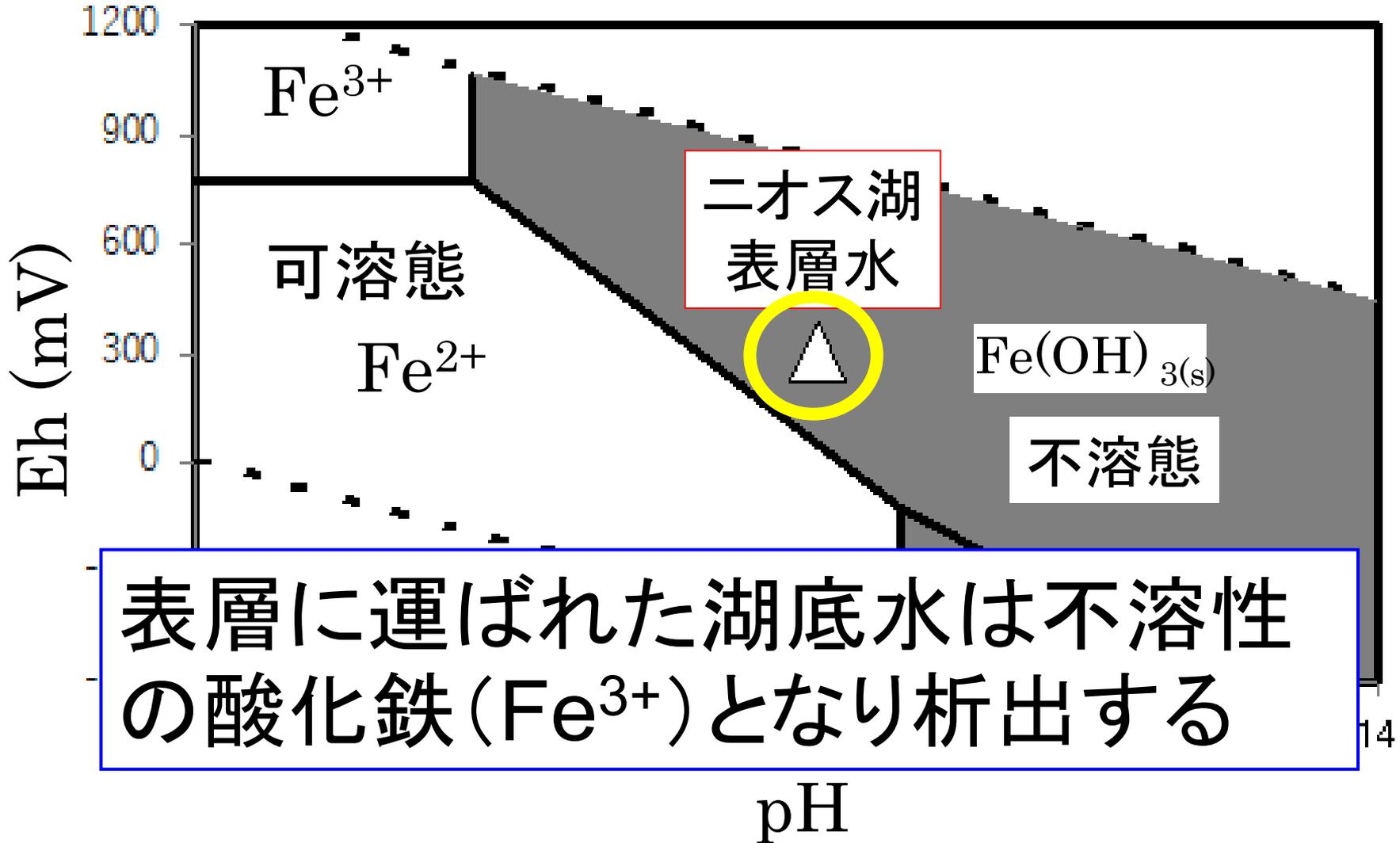


# 湖表面のEh-pH

# ニオス湖・湖表環境 pH-ORP Diagram

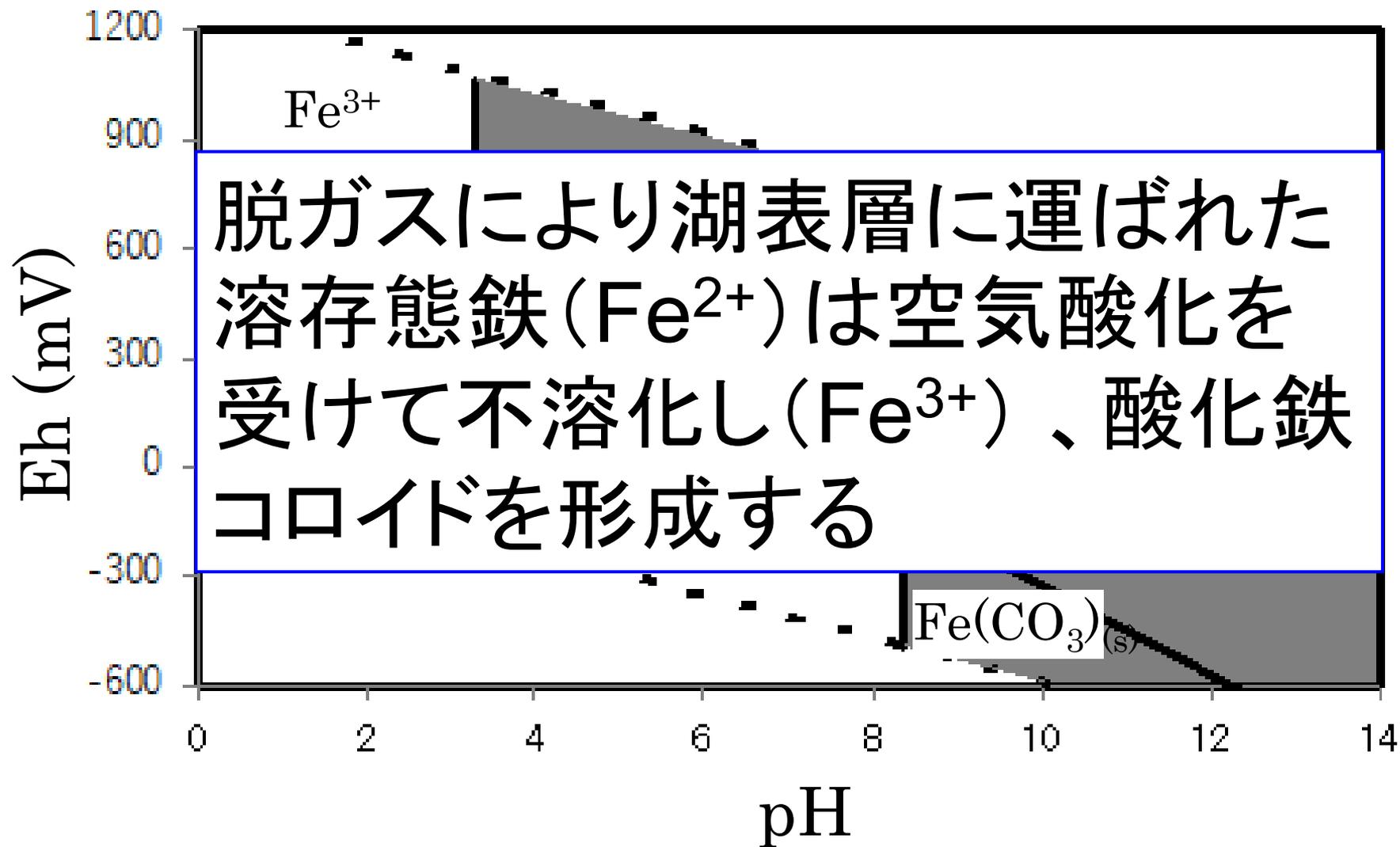


# ニオス湖・湖表環境 pH-ORP Diagram



# pH-ORP Diagram

## ニオス湖の表層水環境

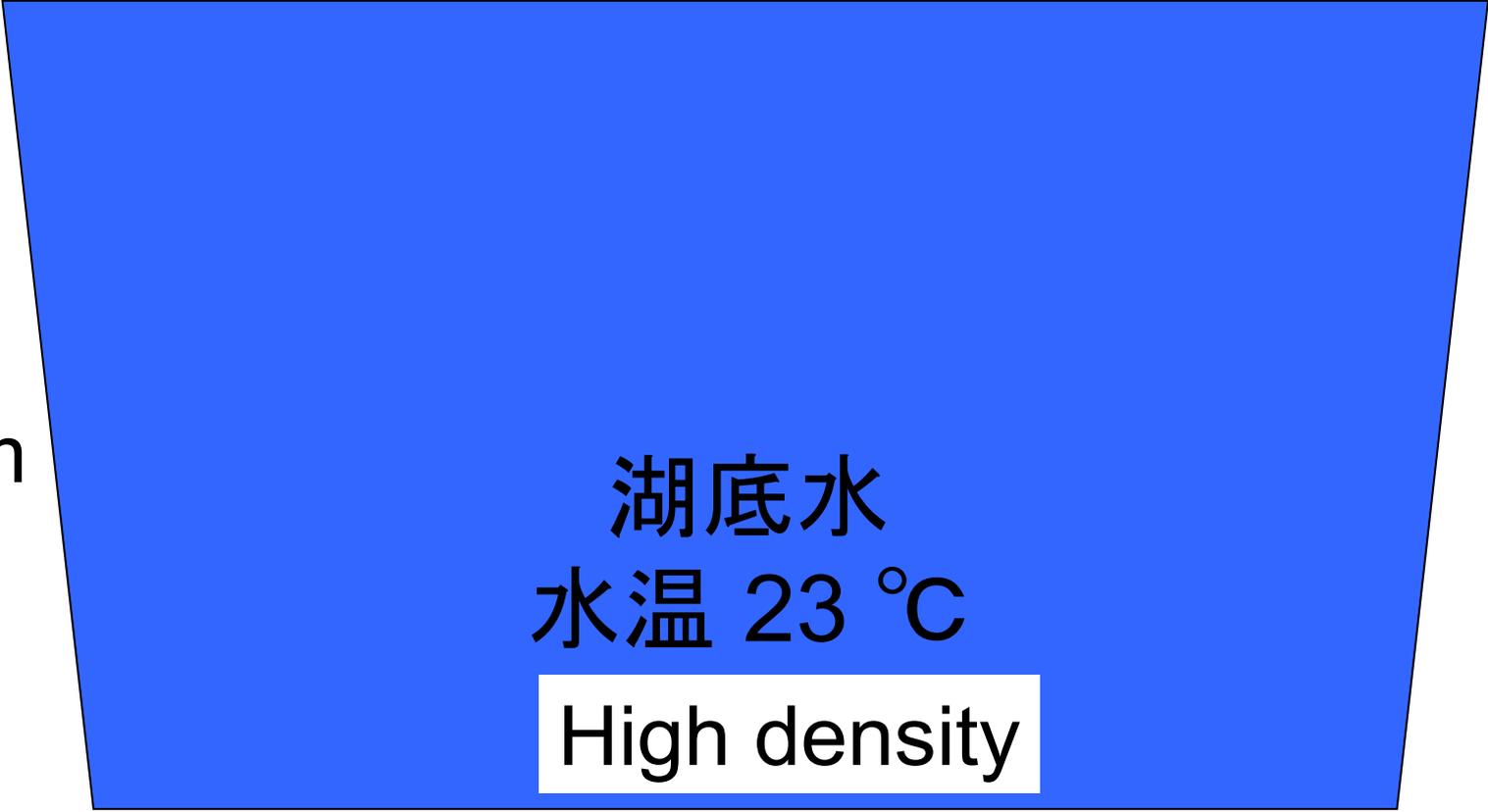


# 無色透明の“ソーダ水”（湖底水）は 大気下で赤茶けた水に変化

- 二価鉄 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) を含んだ湖底水は大気下で遊離酸素により酸化される
  - $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$
  - 二価鉄 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) を含む水は無色透明
  - 酸化鉄コロイド  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{Fe}^{3+}$ ) は赤茶
- “赤茶色”の物質の正体は酸化鉄  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  コロイド

日本でも湖水爆発は発生するか？

# 熱帯の湖（ニオス湖）



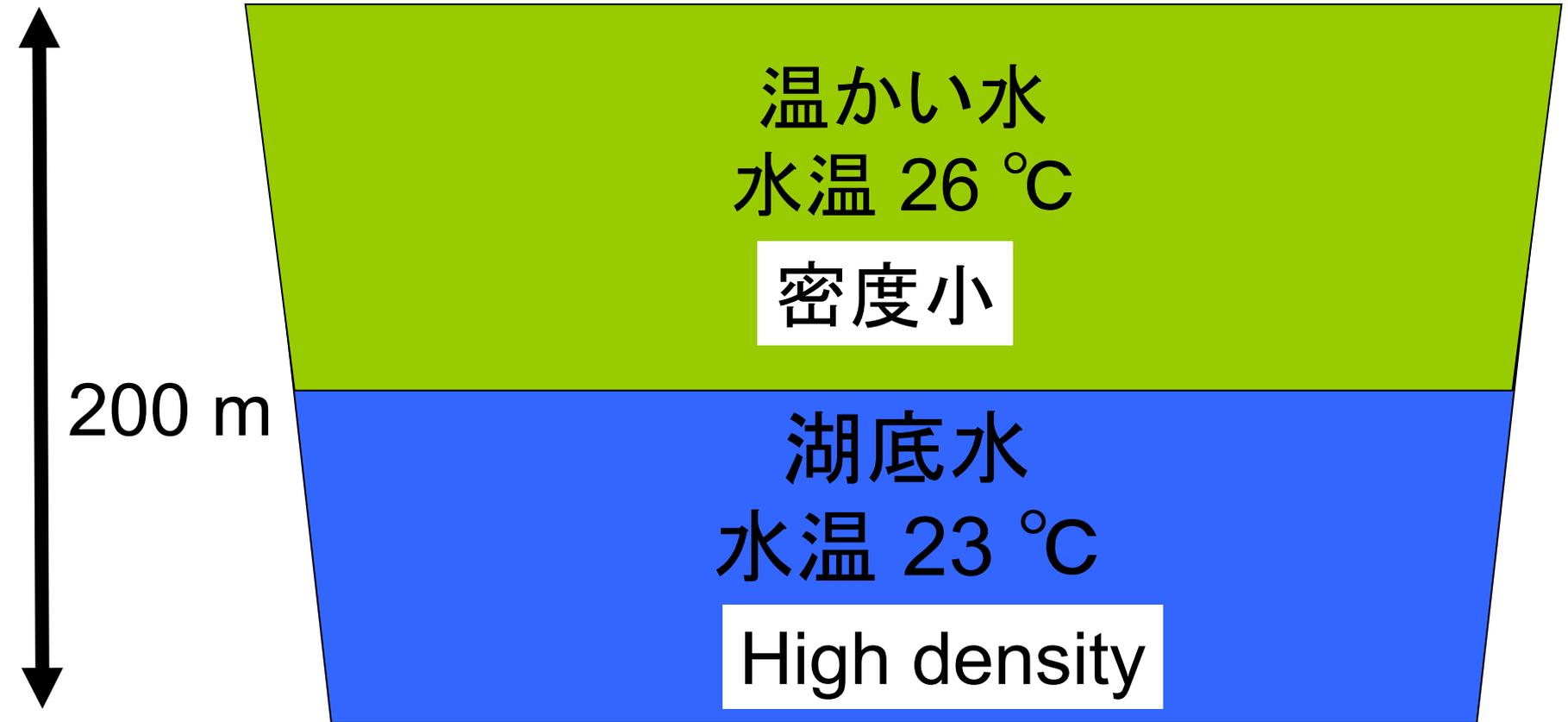
200 m

湖底水  
水温 23 °C

High density

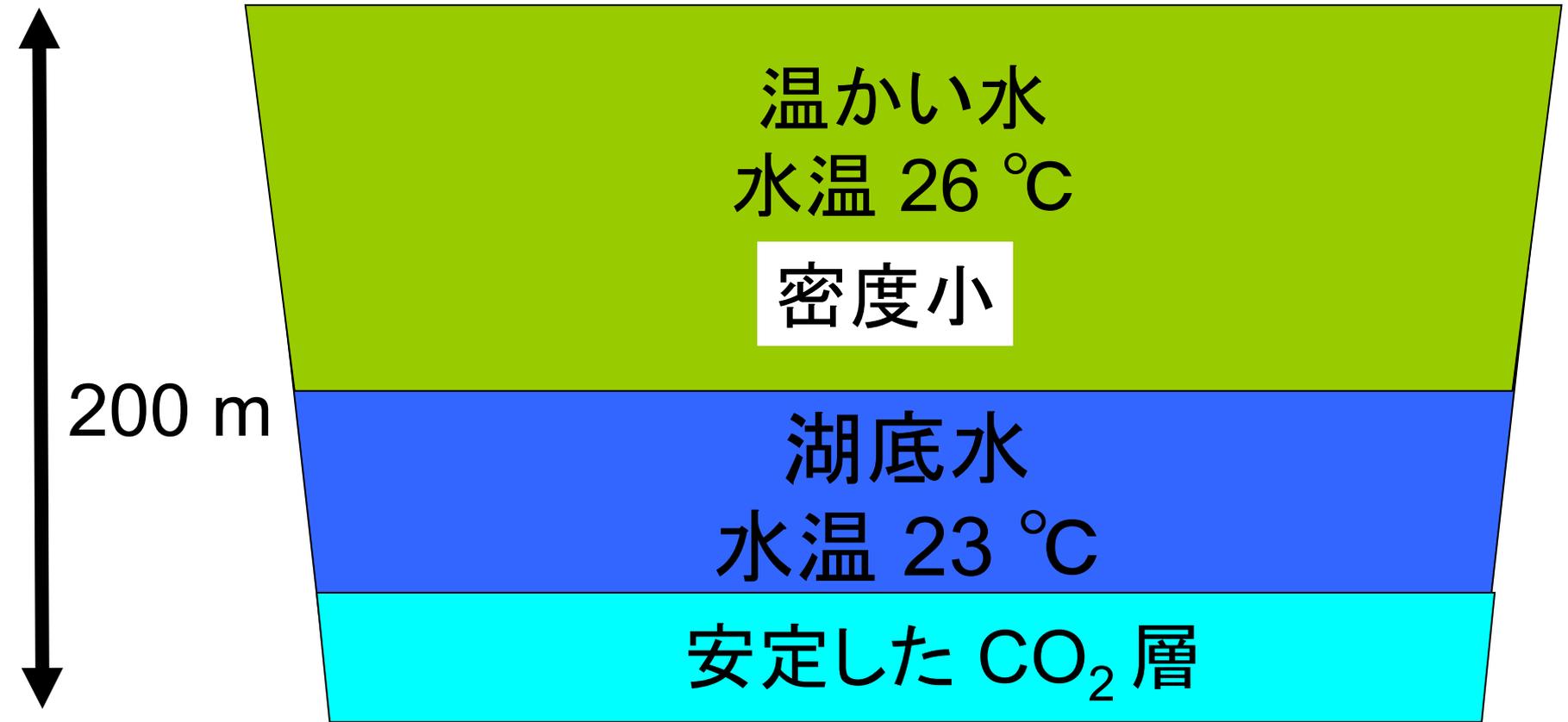
# 熱帯の湖（ニオス湖）

- 湖の上層に温かい密度の小さな水の帽子ができる



# 熱帯の湖（ニオス湖）

- 湖の上層に温かい密度の小さな水の帽子ができる

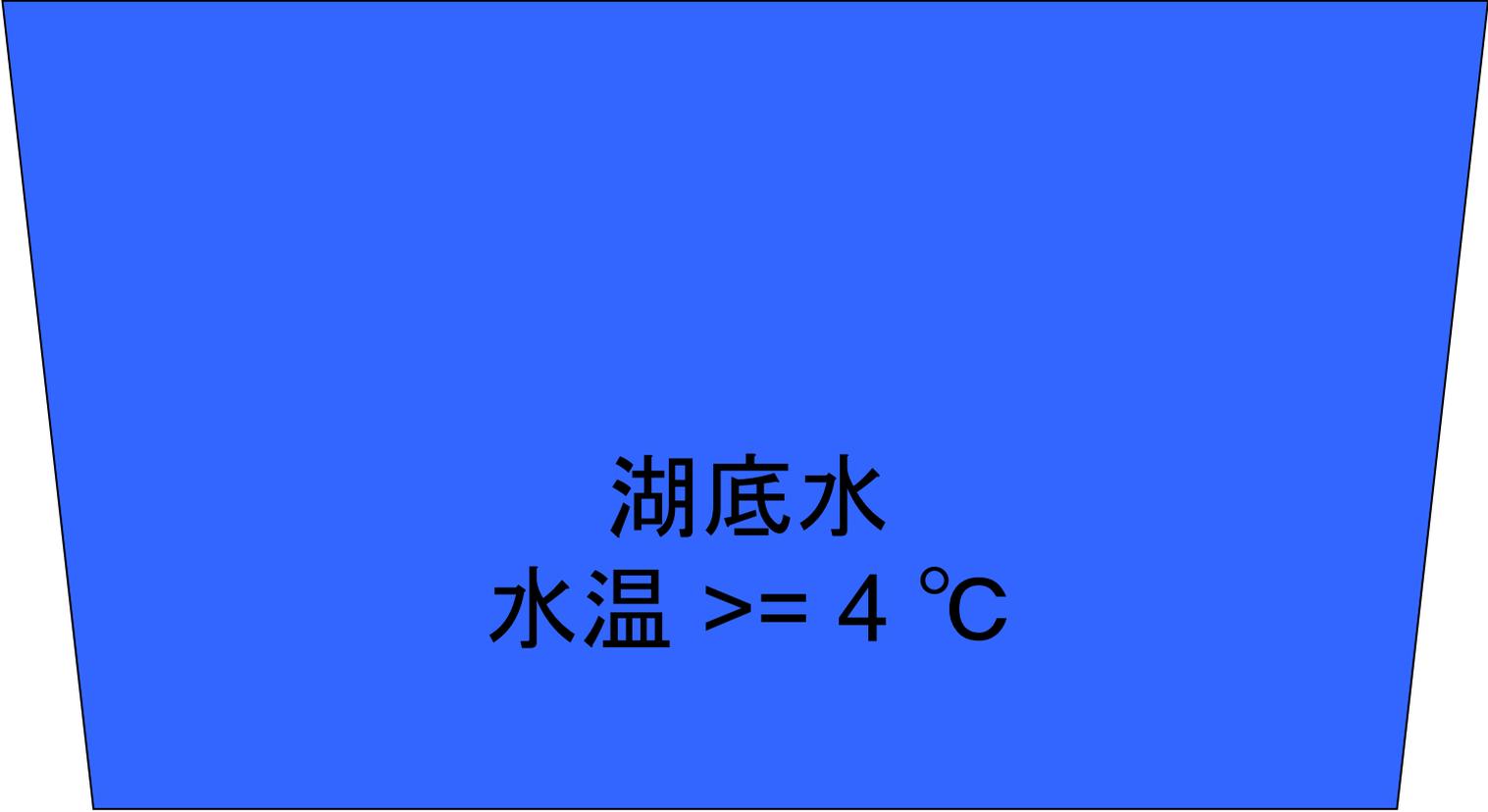


- 湖水は成層構造を保つ

# 日本の湖

夏

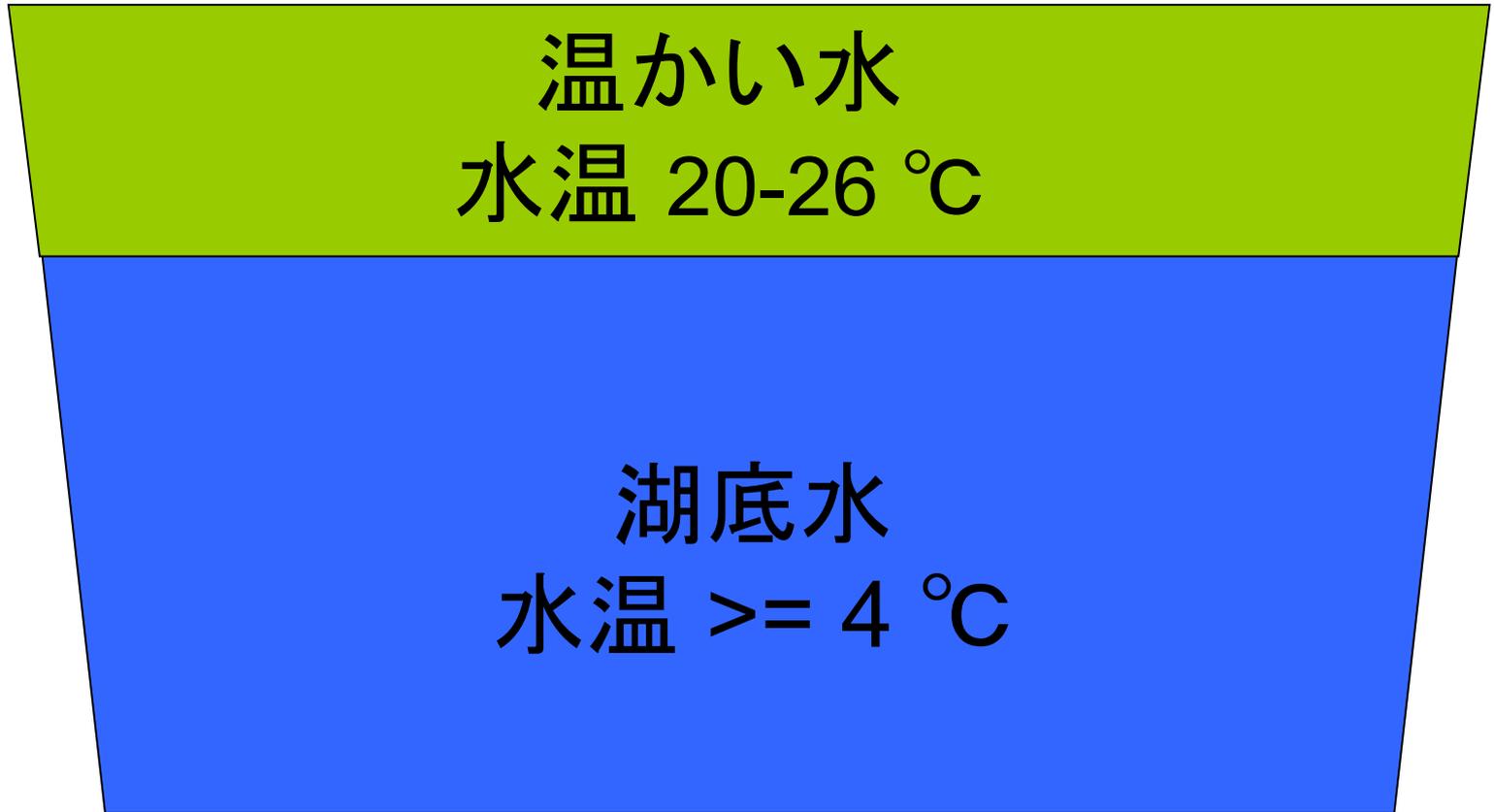
# 日本の湖 夏



湖底水  
水温  $\geq 4^{\circ}\text{C}$

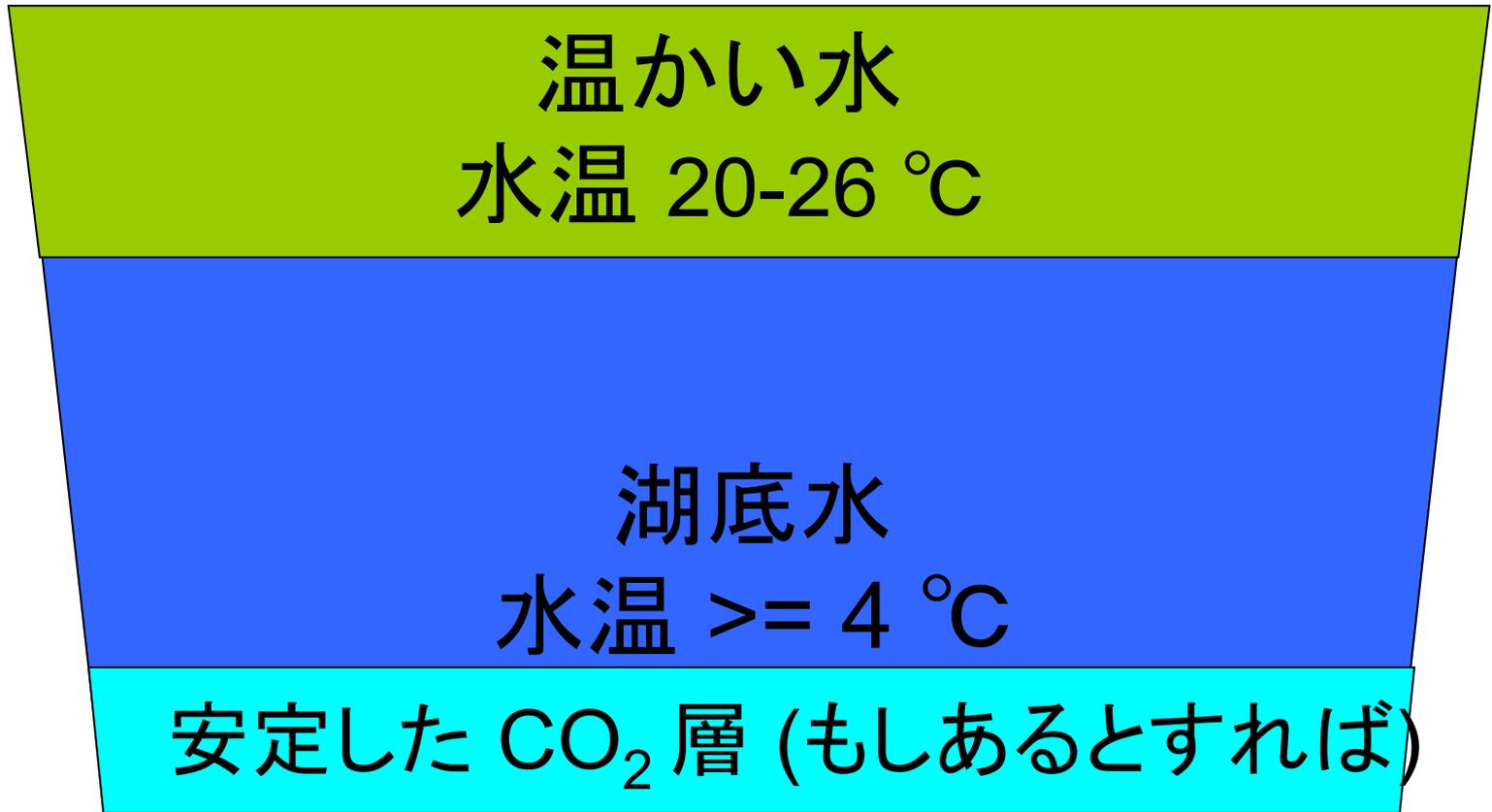
# 日本の湖 夏

- 湖の上層に温かい密度の小さな水の帽子ができる.



# 日本の湖 夏

- 湖の上層に温かい密度の小さな水の帽子ができる。



- 湖水は成層構造を保つ

# 日本の湖 秋から冬

冷氣

温かい水  
水温 20-26 C

湖底水  
水温 4 C

安定した CO<sub>2</sub> 層

# 日本の湖

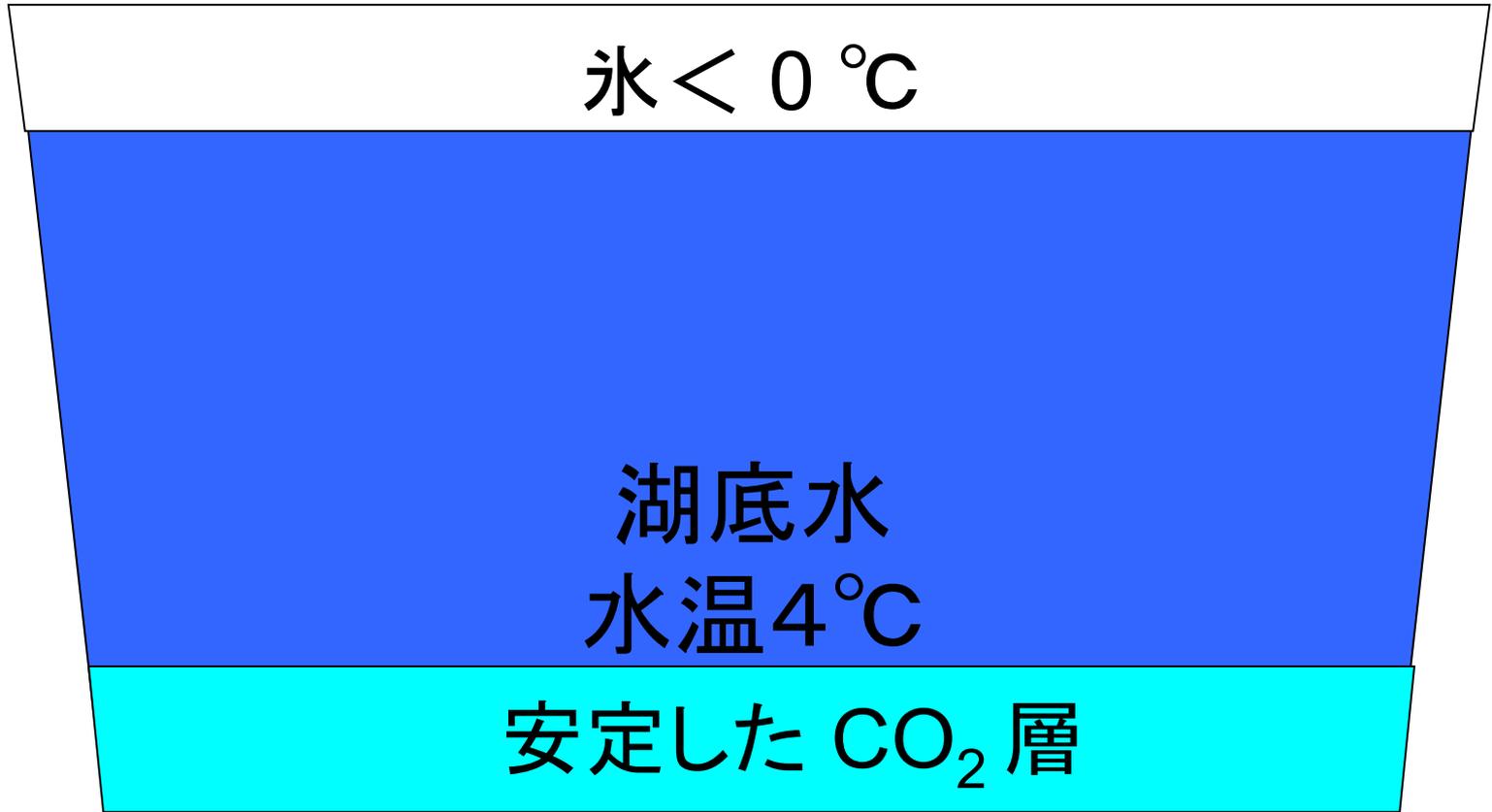
秋から冬

Key: 水の密度が最大となる温度

4°C

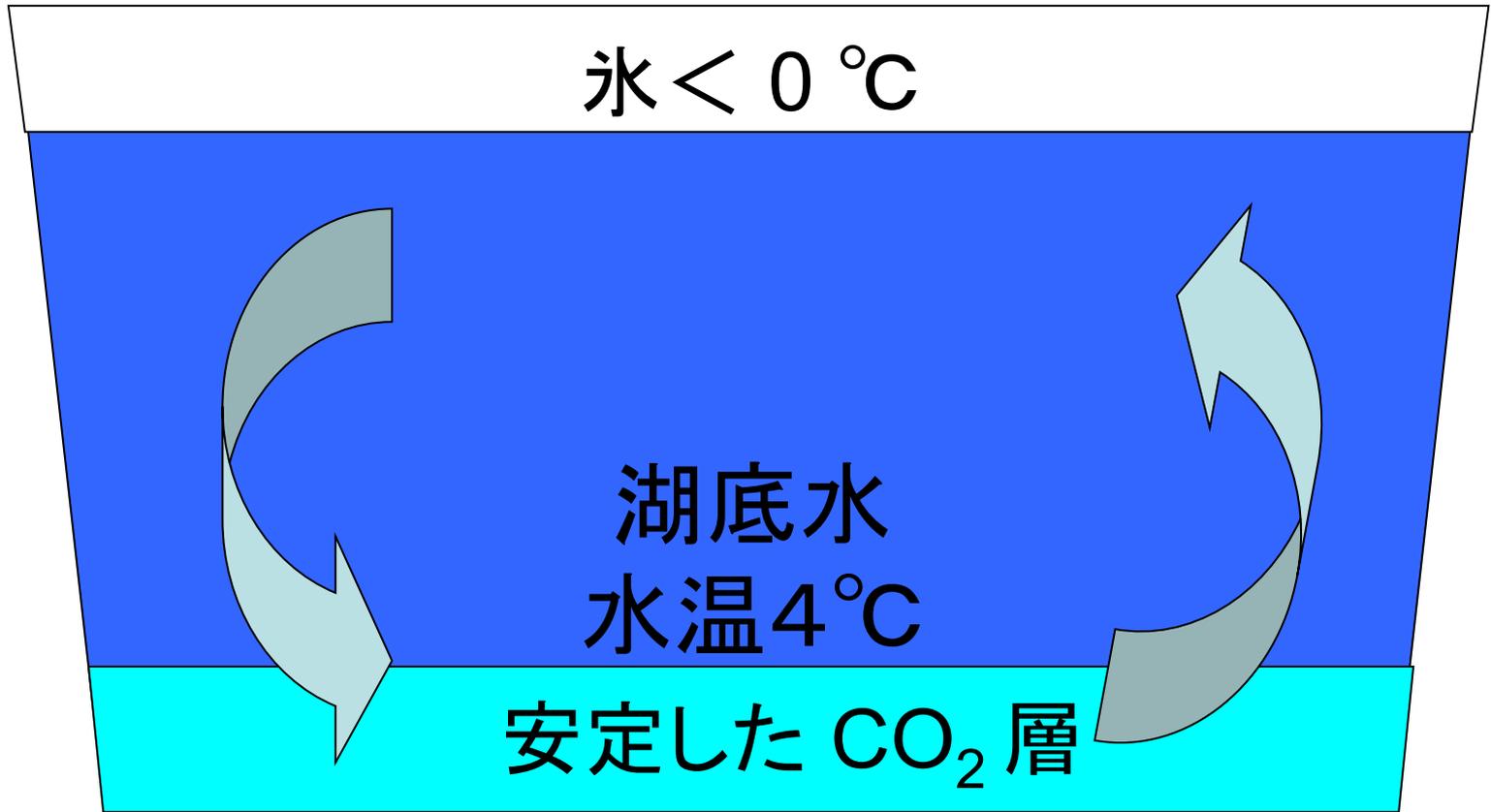
# 日本の湖: 秋から冬

- 水温が $4^{\circ}\text{C}$ 以下に低下すると、冷たい水のが密度低下し、上昇を始める



# 日本の湖: 秋から冬

- 水温が $4^{\circ}\text{C}$ 以下に低下すると、冷たい水のが密度低下し、上昇を始める

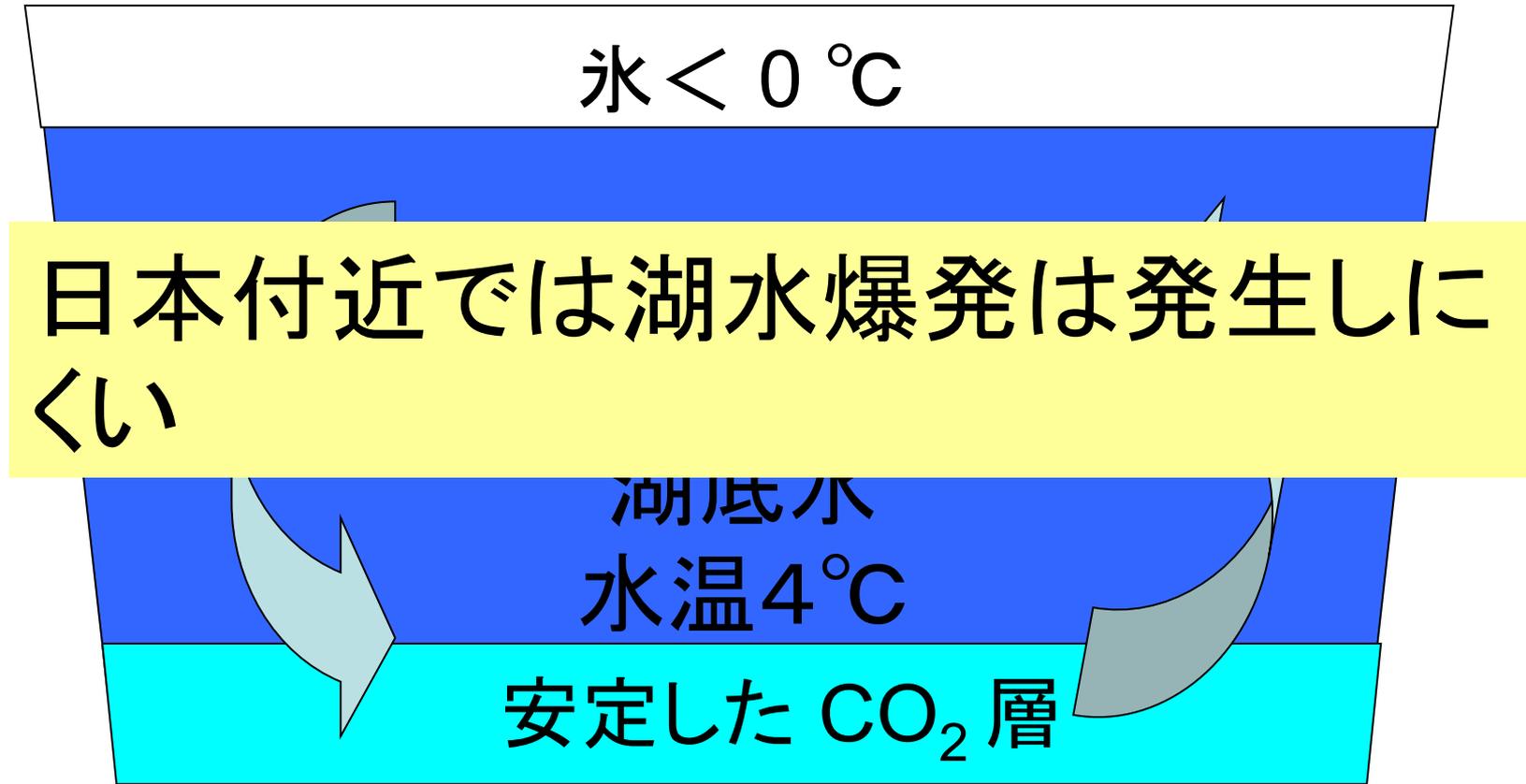


- 垂直方向の混合が発生し、湖全体がかき混ぜられ、密度の低い $\text{CO}_2$ が大気中に発散される



# 日本の湖: 秋から冬

- 水温が $4^{\circ}\text{C}$ 以下に低下すると、冷たい水のが密度低下し、上昇を始める



- 垂直方向の混合が発生し、湖全体がかき混ぜられ、密度の低い $\text{CO}_2$ が大気中に発散される

# WEB 偽情報の巣

# 間違い探し 「ニオス湖」の写真？



アルファポリス電網浮遊都市, ”ニオス湖大災害(雛見沢大災害のモデル)”,  
<https://www.alphapolis.co.jp/novel/6072941/240171301/episode/960776>.

# 間違い探し ニオス湖

アルファポリス電網浮遊都市, ”ニオス湖大災害(雛見沢大災害のモデル)”,  
<https://www.alphapolis.co.jp/novel/6072941/240171301/episode/960776>.



- 雪
  - もし雪が降ったなら
  - 湖の成層構造は崩れる
  - 二酸化炭素の湖底層蓄積は発生しない
  - 湖水爆発は発生しない！

不思議な災害

まとめ

# 不思議な災害

- ニオス湖・マヌーン湖での災害の原因
  - 二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ )
  - 湖水爆発
- 災害防止
  - 脱ガスパイプによる緩やかな $\text{CO}_2$ 放出
  - 脱ガスには成功
- 環境影響
  - 湖底に貯留する溶存二価鉄 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) が湖水表面に運搬され空気酸化されたために三価鉄 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) コロイドで湖水表面が覆われることに

# 結論

- 大規模な環境改変には負の側面がつきまとう
  - 始めるのは容易
  - 続けるのが大変
  - 子孫に負の遺産を負わせないように

# 湖水爆発の 謎を解く

日下部  
実

カメルーン・ニオス湖に挑んだ二〇年