

CFC (Chlorofluorocarbon)を用いた 地下水の滞留時間推定

辻村 真貴

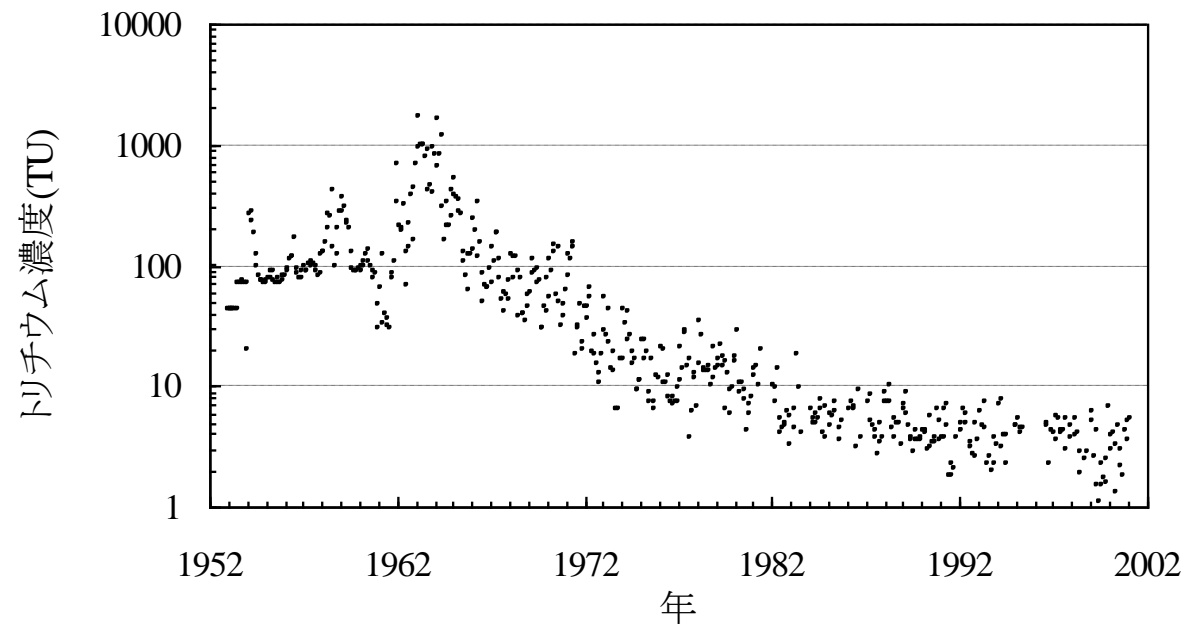
筑波大学大学院生命環境科学研究科

地下水流動プロセス研究の目的

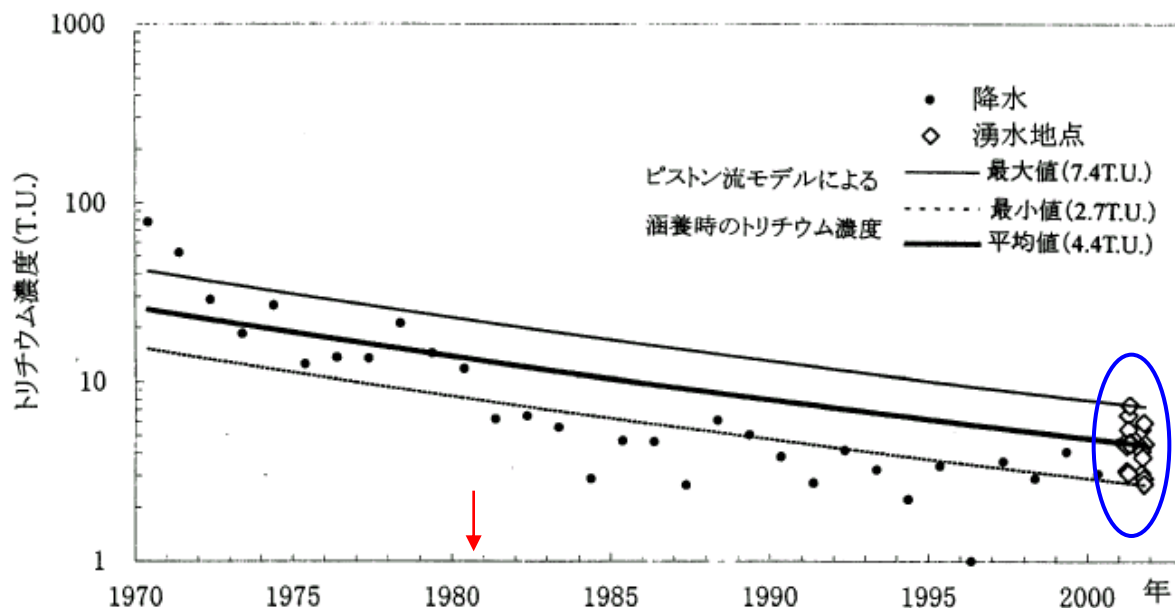
- 涵養
- 流出
- 経路(path)
- 滞留時間(flux)

滞留時間の推定

- 数ヶ月から数10年の追跡能をもつもの
 - 安定同位体, Cl⁻等の季節変動伝搬
 - ³H
 - ³H/³He法
 - ³⁶Cl



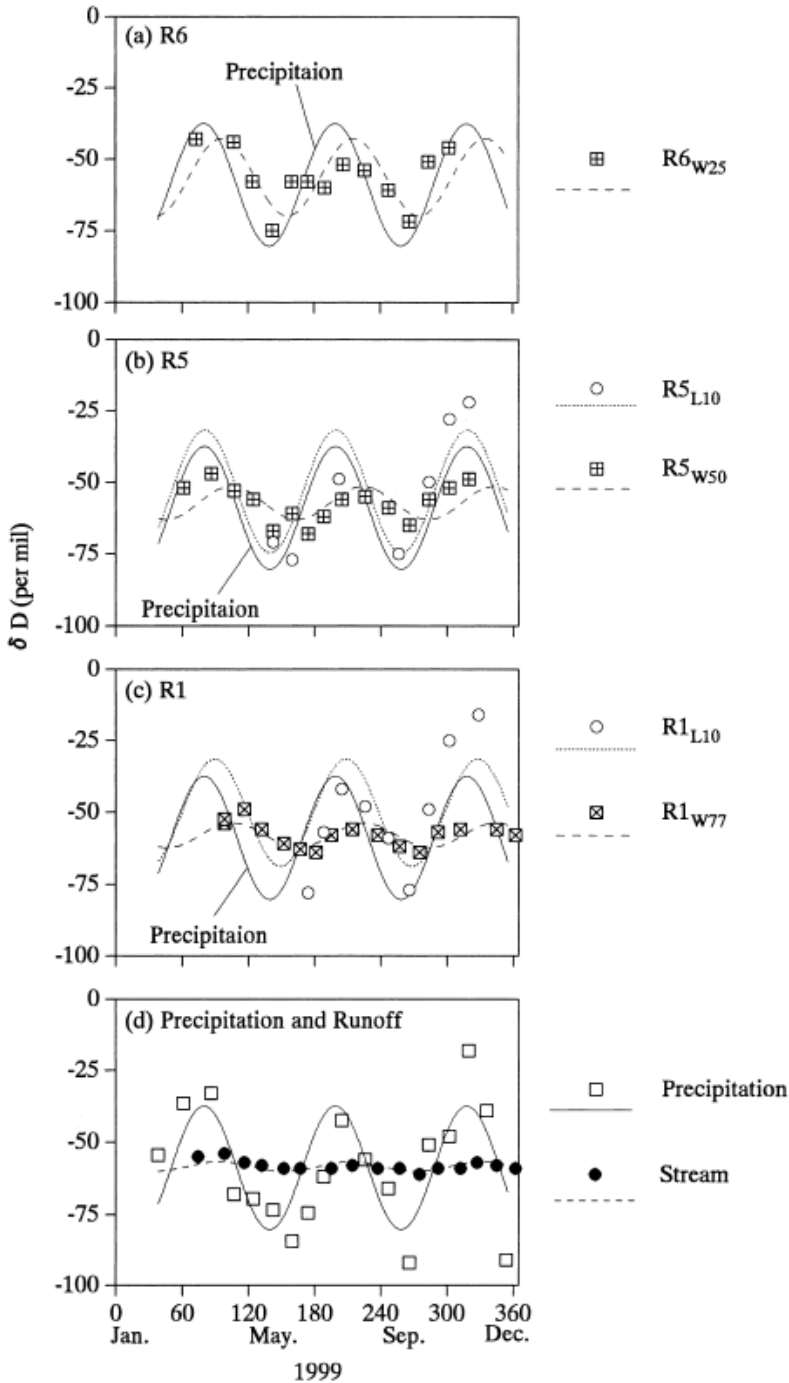
つくばにおける降水中の ^3H 経年変化 (Shimada et al., 1993 に加筆)



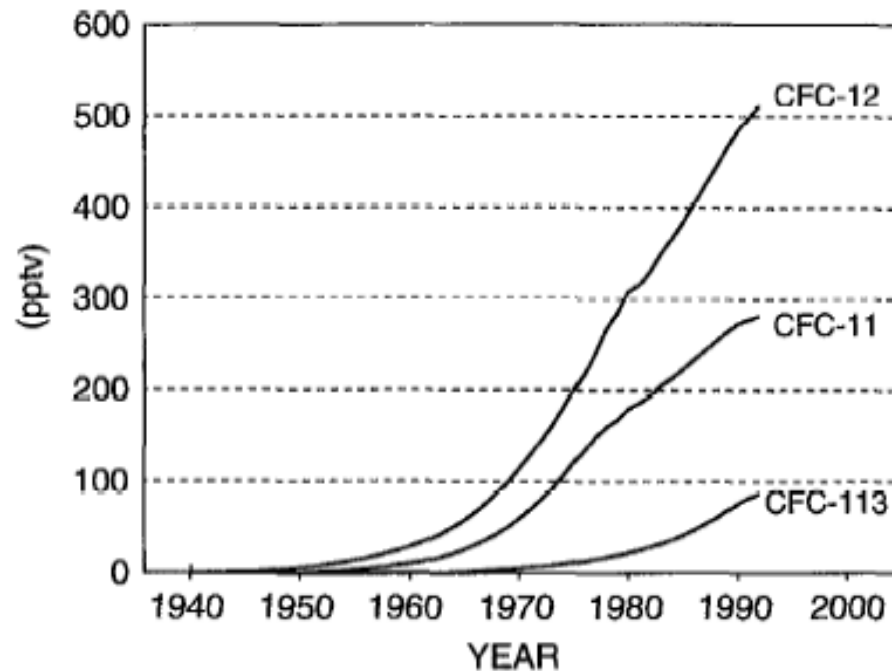
北茨城十王・風化花崗岩丘陵地における湧水の滞留時間推定 (岩瀬, 2001; 未公表)

図. 21 各湧水地点のトリチウム濃度と降水のトリチウム濃度(涵養量によって1年加重平均)

山地流域を対象にした降水 と地下水溪流水の安定同位 体比による滞留時間推定 Asano et al. (2003)



CFC (Chlorofluorocarbons)



- ClやF, Cを含む有機ハロゲン化合物
- 1930年代に米国で人工的に生成された
- 無色無臭, 人体無害, 不燃性, 液化, 気化が容易
 - CFC-12(CCl_2F_2): 102年
 - CFC-11(CCl_3F): 50年
 - CFC-113($\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$): 85年

Figure 1. Atmospheric concentrations of CFC-11, CFC-12, and CFC-113 from 1940 to the present. Data for CFC-11 and CFC-12 between 1975 and 1985 are from measurements at the Pacific Northwest station (United States). Between 1985 and 1990 a linear rate of increase of 10 and 20 parts per trillion by volume (pptv) yr^{-1} has been assumed for CFC-11 and CFC-12, respectively [Rasmussen and Khalil, 1986]. After 1990 a linear increase of 4 pptv yr^{-1} for CFC-11 and 14 pptv yr^{-1} for CFC-12 has been assumed [Elkins *et al.*, 1993]. Concentrations before 1975 are derived from the release data of McCarthy *et al.* [1977] normalized to concentrations measured in 1975. Atmospheric concentrations of CFC-113 are from W. Smethie (personal communication, 1993).

Cook *et al.* (1995)

表I-1 米国における CFC の10大用途

用途	1986年消費量 (100万ポンド)	主要な使用 CFC	推定増加率 (1987～2010年)*
1. エアコン 自動車	120	CFC-12	0.6%
2. 冷蔵庫 食品小売店	95	CFC-11, CFC 502	2.0, 2.0
3. 仕上げ洗浄 電子機器	75	CFC-113	6.0
4. 開放式蒸気脱脂 金属、プラスチック等	61	CFC-113	5.0
5. 硬質断熱材 屋根と外装	55	CFC-11, CFC-12	6.0, 2.9
6. 硬質断熱材 現場注入型フォーム	44	CFC-11	4.0
7. エアコン 遠心冷却装置	40	CFC-11, CFC-500	2.0, 2.0
8. 滅菌剤 医療機器	22	CFC-12	2.2
9. フォームパッド 軟質スラブ材	21	CFC-11	3.0
10. エーロゾルスプレー 基本用途	21	CFC-11, CFC-12	0.0, 0.0

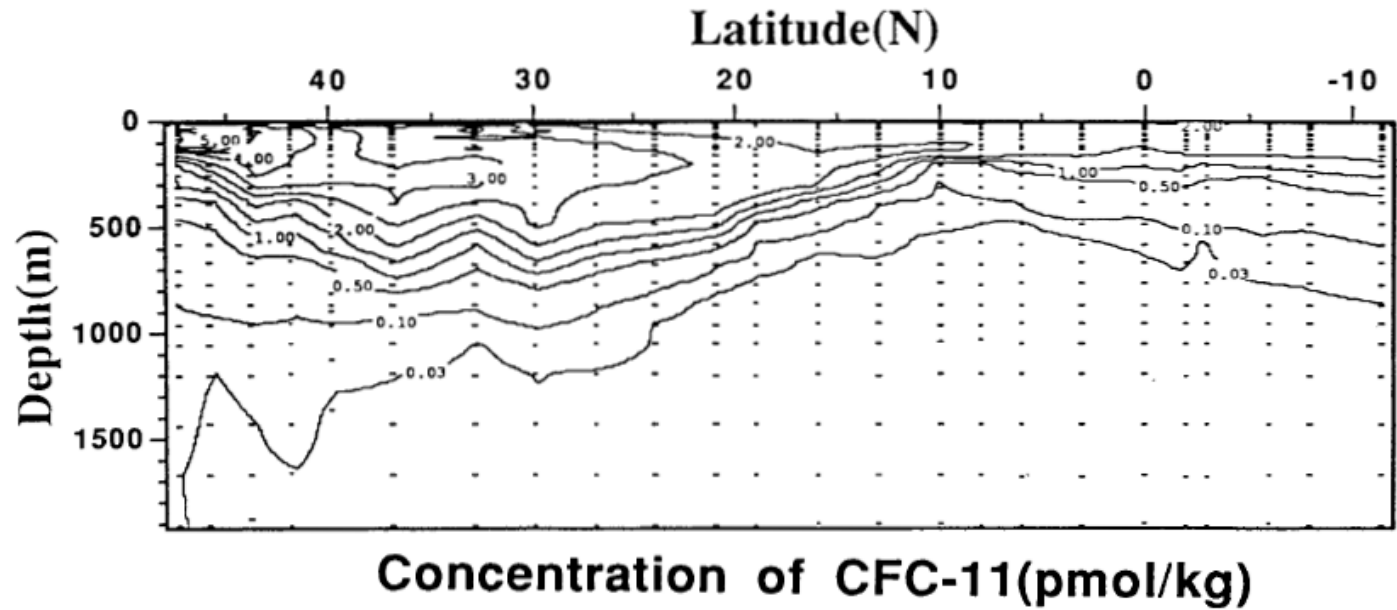
* 政府の規制のない場合の用途別 CFC の推定増加率

出典: Putnam, Hayes & Bartlett Inc., Economic Implications of Potential Chloro-
fluorocarbon Restrictions

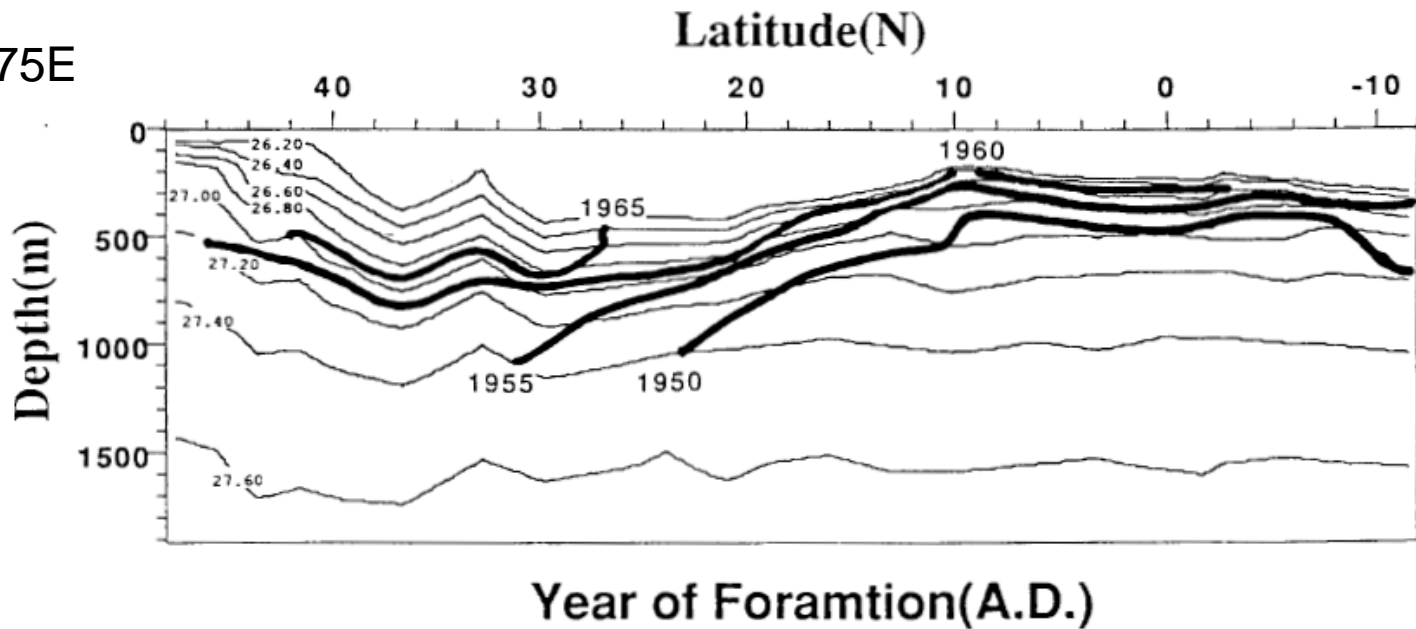
CFC-12, CFC-11による滞留時間推定

- CFC法により推定された滞留時間は、地中水が不飽和帯中の空気と触れなくなつて以降の時間と定義される (recharge ages: RA).
- RAはminimumな推定値と捉える必要がある
 - サンプルング等によるCFCの汚染
 - 古い水ほどCFC濃度が低い
- ^3H - ^3He 法などのように、input functionとしてspike的なシグナルを使わないので、RAでは地下水中の分散による誤差が少ない。

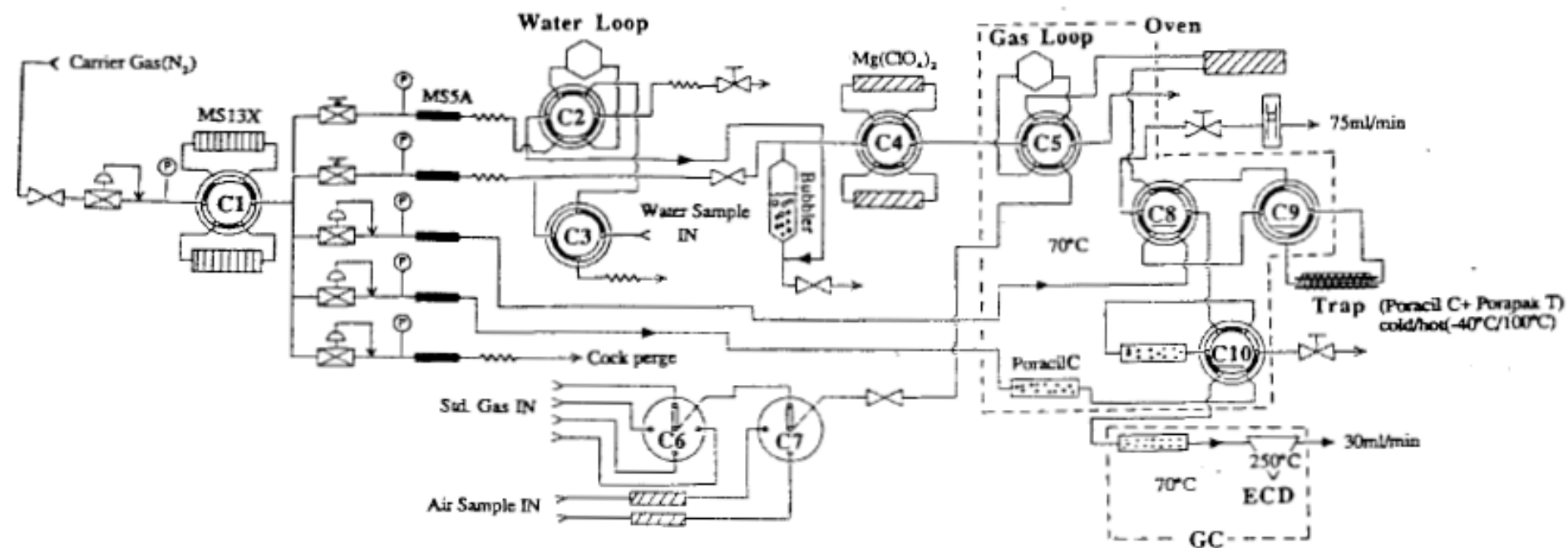
CFCによる北太平洋中層水のトレース(渡辺ほか, 1993)



Along 175E



海洋水CFC分析システム (渡辺ほか, 1993)



CFC-12, CFC-11の水中・海水中の溶解度 (Waner and Weiss, 1985)

$$\ln K = a_1 + a_2 \left(\frac{100}{T} \right) + a_3 \ln \left(\frac{T}{100} \right) + S \left[b_1 + b_2 \left(\frac{T}{100} \right) + b_3 \left(\frac{T}{100} \right)^2 \right]$$

K : 溶解度 (mol/kg/atm); S : 塩分濃度 (ppt); T : 温度

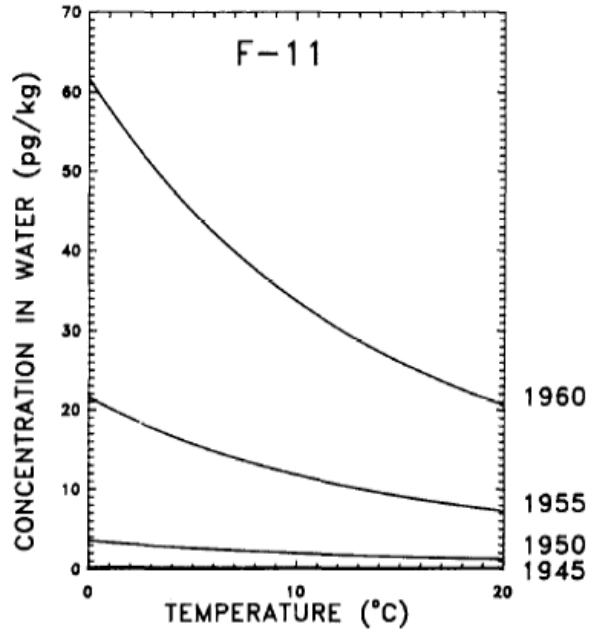
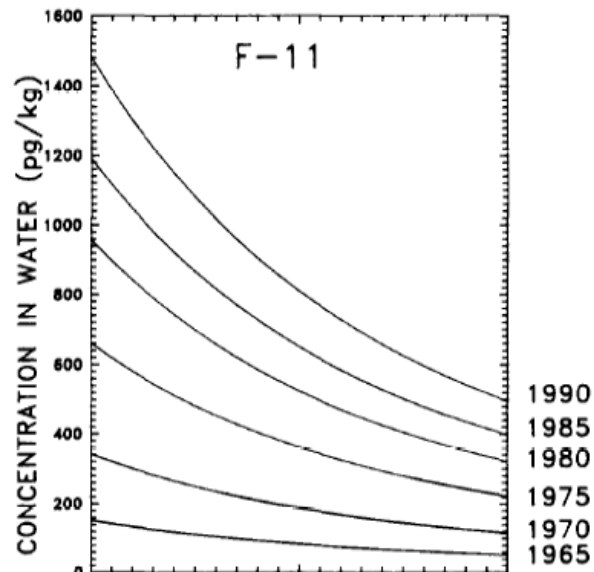


Fig. 5a. F-11 concentrations in natural waters at equilibrium with air as a function of the recharge temperature for the years 1945-1990. The concentrations of F-11 in water decrease as the recharge temperature increases.

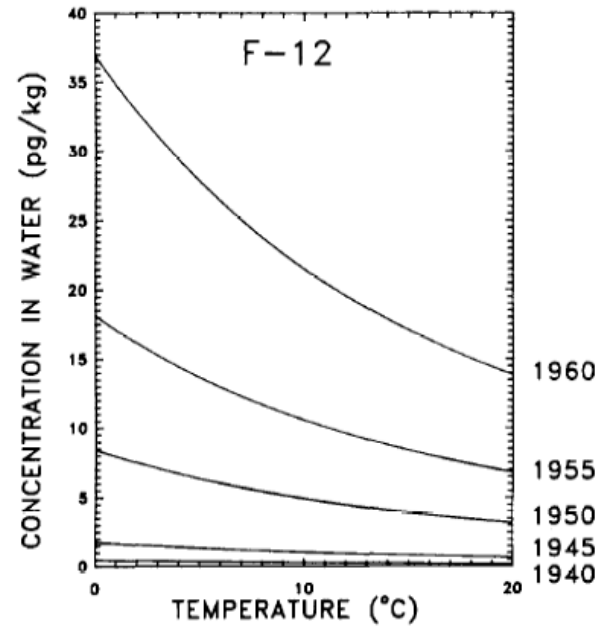
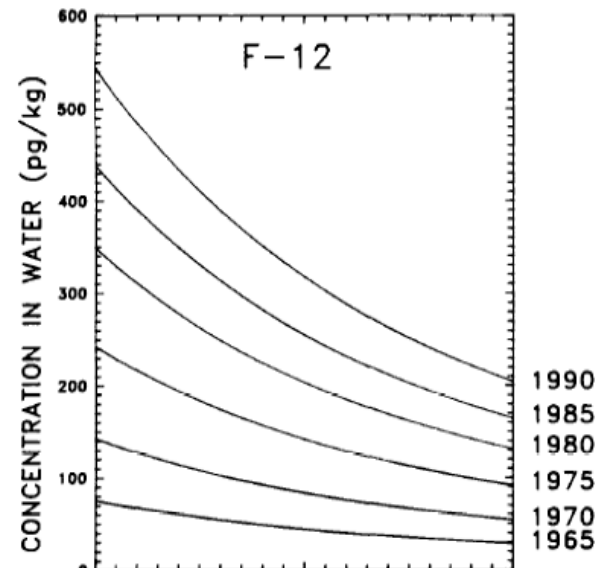


Fig. 5b. F-12 concentrations in natural waters at equilibrium with air as a function of the recharge temperature for the years 1945-1990. The concentrations of F-12 in water decrease as the recharge temperature increases.

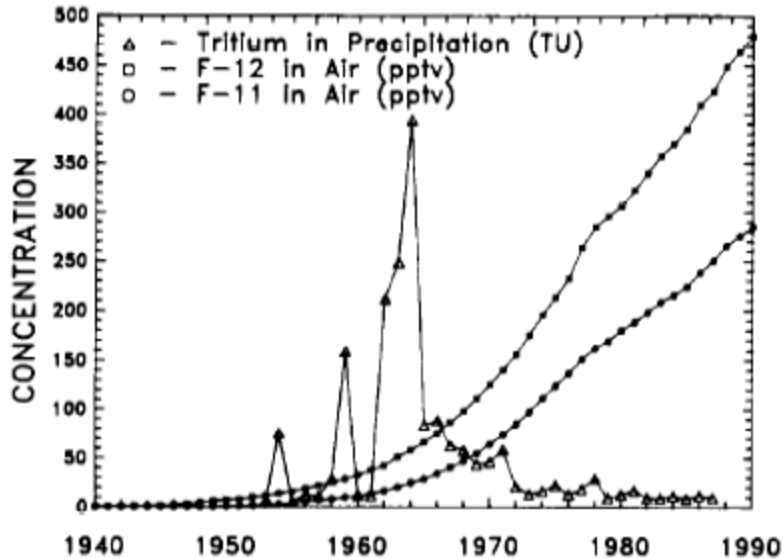


Fig. 4. Atmospheric concentrations of F-12 and F-11 for central Oklahoma as a function of time (See text for details.). The tritium concentrations in March precipitation are also shown [Michel, 1989]. Tritium concentrations have been corrected for radioactive decay to the year 1988.

- バックグラウンドとしての人間活動の影響を評価する必要
- 大気中のCFCの空間変動
- 土壌間隙中のCFCの空間変動
- サンプリングの技術的問題

大気中のCFC濃度と降水中の³H濃度の経年変動(Busenbergl and Plumer, 1993)

観測井内におけるCFC, ³H濃度プロファイル(Cook et al., 1995)

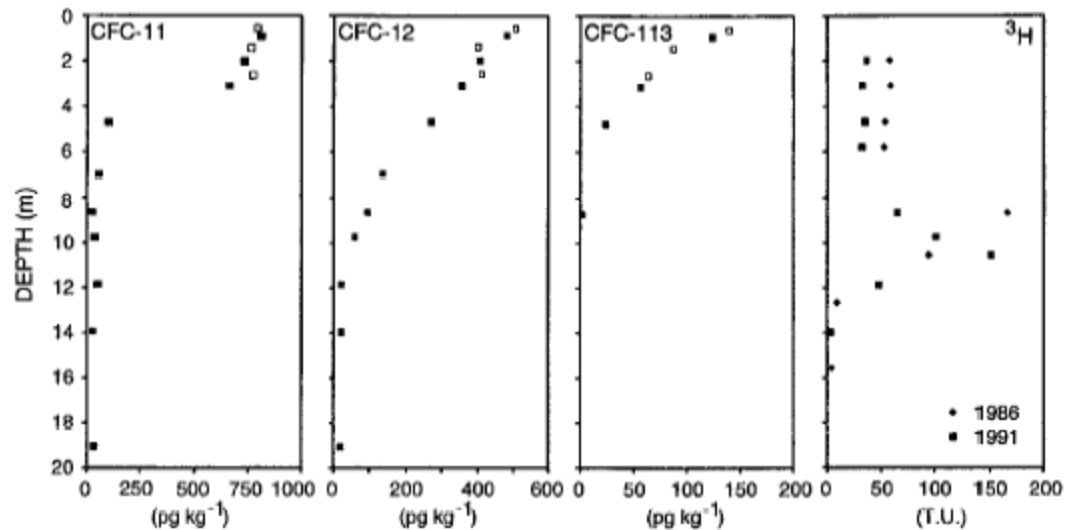


Figure 4. Measured depth profiles of chlorofluorocarbons and tritium at nest 28. Open squares denote samples from the piezometers located approximately 10 m north of the main nest.