

CFCs を用いた地下水年代の推定

1. CFCs トレーサーの特徴

CFCs (クロロフルオロカーボン類) は、冷却剤や洗剤などの工業用の用途で1930年代に人工的に生成された有機化合物である。CFCsは化学的に極めて安定な性質を持ち、使用されたCFCsは最終的には大気に放出されるため、生産量の増加にともなって大気中にCFCsが蓄積された。

図 1は北米大気中のCFCs濃度(CFC-11, 12, 113)の経年変動を示したものである。CFCsの種類によって濃度上昇が開始した時期は前後するが、概ね1940年代から1990年代までの50年の長期間にわたって、年3%程度の早い速度で濃度が上昇している。若い地下水(滞留時間50年未満)の年代トレーサーとして広く普及している放射性水素同位体(トリチウム)と比較すると、CFCsは濃度ピークがより現在に近い時期にあり、濃度上昇期間が長いという特徴を有している。

このような近年の大気中のCFCs濃度の単調増加と化学的な安定性に着目し、最初に若い地下水(滞留時間0~50年未程度)の年代指標としての可能性を指摘されたのは1970年代のことである。その後、1990年代に入って、トリチウムによる年代推定の感度が低下してきた背景から、欧米を中心に若い地下水の年代推定の際にトリチウムに加えてCFCsの測定が行われるようになった。その結果、若い地下水の年代指標としてのCFCsの有効性が確認されると同時に、採水・分析・解析に至るまでの手法が確立された。日本国内では、2006年度よりいくつかの機関で地下水のCFCs濃度測定が可能になり、火山山麓湧水や扇状地地下水に適用されてきている。

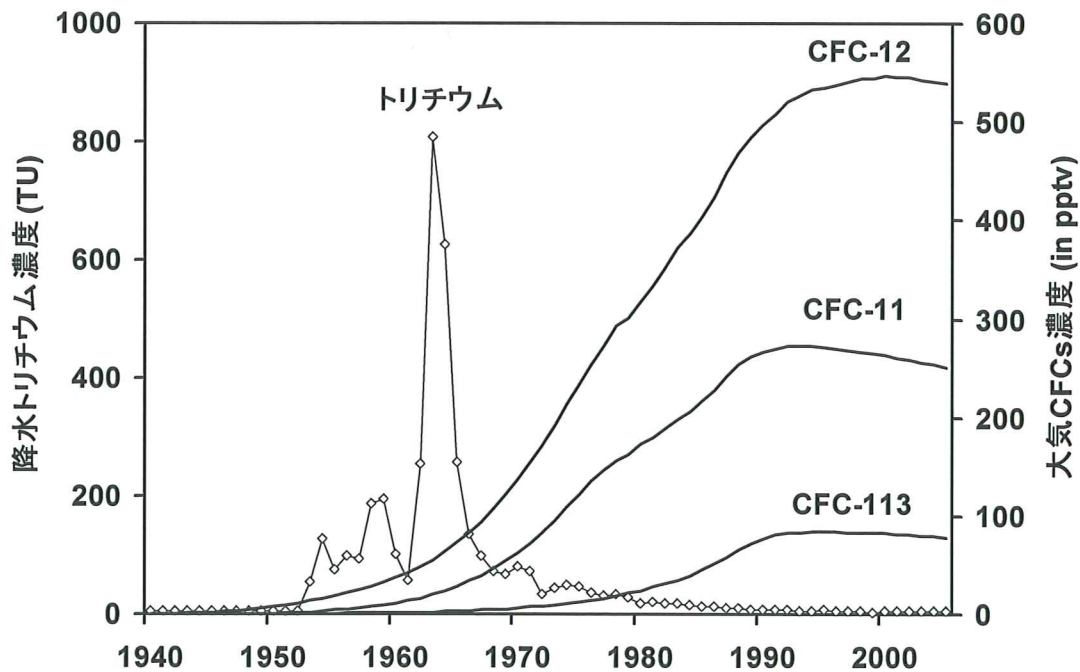


図 1. 大気中の CFCs 濃度および降水中のトリチウム濃度の経年変動

2. CFCs による地下水年代の推定方法

CFCs による地下水の涵養年代の推定は、大気と地下水の溶解平衡に基づいている。地中に浸透した降水は、不飽和帯中を降下浸透する際に、土壌中のガスと濃度溶解平衡に達し、その後地下水を涵養する。したがって、地下水の CFCs 濃度は、涵養時の大気中の CFCs 濃度と溶解度を反映することになる。ここで、地下水に溶解した CFCs の量が地下水の流動・流出の過程で変化しないと仮定すると、CFCs 年代は、以下の 3 つの手順によって得られる。

1. 地下水の CFCs 濃度の測定 (Purge and Trap-GC-ECD 法)
2. ヘンリーの溶解平衡式によって測定値を地下水涵養時の大気濃度に変換。
(式を解くために、地下水の涵養温度、涵養標高、塩分濃度のデータが必要)
3. 変換された値を過去の大気中の CFCs 濃度と比較

図 2 は八ヶ岳山麓の湧水について、上記の手順を用いて、測定された CFCs 濃度を地下水涵養時の大気濃度に変換し、過去の大気中の CFCs 濃度曲線と対比したものである。図から読み取られるように、地下水の平均涵養年代(ピストン流モデル)は CFC-12:1986 年、CFC-11:1983 年、CFC-113:1986 年と見積もられた。CFCs トレーサーによる年代推定では、CFCs 種毎に 3 つの年代値が求められるが、通常最も地中での濃度保存性の高い CFC-12 の結果(1986 年)が優先される。

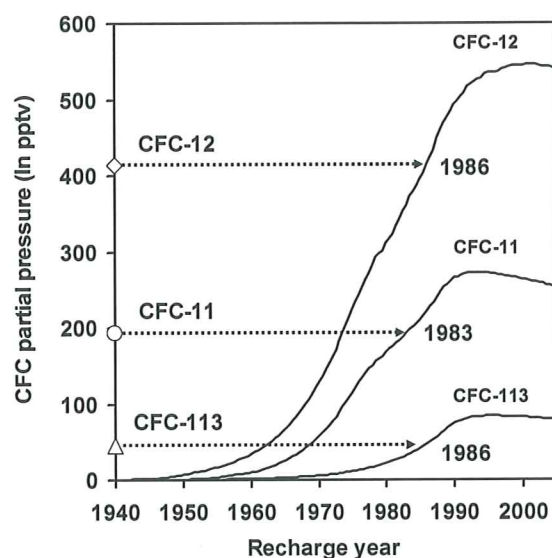


図 2. CFCs 年代推定例(八ヶ岳)

3. CFCs トレーサーの長所と適用制限

長所

- ・ 滞留時間 10 年～50 年の地下水について詳細な年代推定(時間分解能 1 年)が可能である。
- ・ 過去の大気中の CFCs 濃度は既知である。
- ・ 地殻由来の起源は存在しない。
- ・ 多試料の分析が可能である(分析コストが安い)。

制限要因

- ・ CFCs 年代の推定には涵養温度・涵養標高の設定が必要である。
- ・ CFC-11, 113 は地下水流動時に微生物分解・吸着の影響を受ける場合がある。
- ・ 工場等からの人為的な CFCs 汚染があると、年代推定は不可能である。
- ・ CFCs 年代には、不飽和帯中の水の移動時間は含まれない。
- ・ 採水時に大気中の混入と採水器具からの汚染を避ける必要がある。