

보존과학연구의 근황 (保存科學研究의 近況)

-화학분야(化學分野)를 중심(中心)으로-

金 裕 善

(文化財專門委員)

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. 序言 | 다. ESR 年代測定法 |
| 2. 才質調査 및 分析 | 라. 아미노酸 年代測定法 |
| 가. 化學成分의 分析 | 마. 黑曜石 加水化層 年代測定法 |
| 나. 成分分析 結果의 資料化 | 바. Fission Track 年代測定法 |
| 다. 製作技法 調査 | 4. 古代環境의 調査研究 |
| 라. 産地의 推定(同位元素比 測定評價) | 가. 食物과 社會構造 |
| 마. 醫療用 撮影技術을 應用한 遺物調査 | 나. 水溫 推定(同位元素比 測定法) |
| 3. 年代測定 | 다. 灰跡調査 分析 |
| 가. 放射性 炭素 年代測定法 | 5. 結言 |
| (加速質量分析法의 應用) | 參考文獻 |
| 나. 熱螢光 年代測定法 | |

1. 序言(서언)

보존과학(保存科學, Conservation Science)이라 함은 고문화재(古文貨財)의 조사연구(調査研究)나 그들의 보존수복(保存修復)을 위한 자연과학적(自然科學的) 기법(技法)에 의(依)한 연구분야(研究分野)를 뜻하고 있다. 그 연구내용(研究內容)은 매우 넓으며 자연과학(自然科學)의 모든 분야(分野)에 걸쳐서 유기적(有機的)인 관련성(關聯性)을 지니고 있는 소위(所謂) 「경계영역(境界領域)」의 학문(學文)이라 하겠다. 특히 화학분야(化學分野)에 직접(直接) 또는 간접적(間接的)으로 관련성(關聯性)을 지니는 것이 많으며 이들을 총칭(總稱)하여서 고고화학(考古化學, Archeological Chemistry)이라고 칭(稱)하고 있다. 연구대상(研究對象)인 고문화재(古文貨財)는 미술품(美術品), 공예품(工藝品), 고문서(古文書), 전적(典籍), 고고자료(考古資料) 등등(等等) 여러 종류(種類)의 것에 걸쳐 있으며 그 재질(材質)도 각양각색(各樣各色)이다. 이들 각각(各各)에 관(關)하여서 보존과학(保存科學)의 연구과제(研究課題)가 있다. 이러한 과제(課題)들 중(中)에서 보존수복(保存修復)을 위(爲)한 연구분야(研究分野)는 그 취급내용(取扱內容)이 각각(各各)의 대상물(對象物)들의 보존상태(保存狀態) 및 보존환경(保存環境)에 따라서 차이(差異)가 있으며 일률적(一律的)으로 그 방향(方向)과 기법(技法)을 논의(論議)하기 곤란(困難)하다. 따라서 본고(本稿)에서는 자연과학(自然科學)의 고고학(考古學)에 관(關)한 응용연구분야(應用研究分野) 즉(卽) 재질조사(材質調査) 분석(分析), 연대측정(年代測定) 및 고대생활환경(古代生活環境) 조사(調査) 등(等)의 기초연구분야(基礎研究分野)에 관(關)하여서 근래(近來) 각국(各國)에서 발전(發展)되어온 내용(內容)들을 소개(紹介)하여 보고자 한다.

국내(國內)에서도 1970년대(年代) 이후(以後) 이 분야(分野)에 관(關)한 연구(研究)조사(調査)가 각(各) 기관(機關)에서 성행(盛行)되어와서 많은 연구결과(研究結果)가 발표(發表)되고 있다.

본고(本稿)에서는 이러한 현황(現況)을 감안(勘案)하여 국내(國內)에서의 연구(研究) 및 조사(調査)가 활발(活潑)하지 못하였던 분야(分野)에 관(關)하여서 주(主)로 화학분야(化學分野)에 관련(關聯)된 연구내용(研究內容)들을 발췌하여 소개(紹介)하여 보고자 하였다.

유적조사(遺蹟調査)하고 발굴(發掘)하여 유물(遺物)이 모이게 되면 골(骨)이면 어느 종류(種類)의 골(骨)인가(?) 석조물(石造物)이면 어떠한 암석(巖石)의 것인가(?) 금속물(金屬物)이면 철(鐵)이나 동(銅)이나 하는 그 유물(遺物)의 재질(材質) 등(等)을 알고자 함은 당연(當然)하다 하겠다. 지상(地上)에서 발굴(發掘)되기 이전(以前)에 이미 허물어져 버린 철기(鐵器)를 어떻게 보존(保存)하고 조사(調査)하면 그 철기(鐵器)의 산지(產地), 재질(材質), 제작기술(製作技術) 등(等)을 살펴볼 수 있을 것일까(?) 이 유물(遺物)은 어느 정도(程道) 낡은 것일까(?) 연대측정(年代測定)하는 등등(等等)의 재질(材質)분석(分析) 조사(調査), 연대측정(年代測定), 그 유물(遺物)이 존재(存在)하였던 시대(時代)에 대한 사회(社會), 여건(與件) 및 환경조사(環境調査) 등(等)의 연구조사(研究調査) 결과(結果)들은 그 유물(遺物)에 관련(關聯)된 고고학적(考古學的)인 연구여건(研究與件)을 마련하는데 매우 중요(重要)한 역할(役割)을 담당(擔當)하여 온 바 있었다. 최근(最近) 눈부시게 발전(發展)되어온 자연과학(自然科學) 각분야(各分野)의 연구성과(研究成果), 기기(器機), 기술(技術) 등(等)이 이 분야(分野)에도 응용(應用)되어와서 고고학자(考古學者)와 과학자(科學者)들 사이에 긴밀(緊密)한 상호협조(相互協助) 밑에 공동연구(共同研究) 및 조사활동(調査活動)이 성행(盛行)되고 있다. 이에 따라서 과거(過去)에는 찾아보기 힘들었던 새로운 내용(內容)의 것들이 발견(發見)되어 고고학(考古學) 발전(發展)에 크게 기여(寄與)하고 있다. 이 글이 이 분야(分野)에 관(關)한 비록 짧고 부분적(部分的)인 근황(近況)보고(報告)에 지나지 않는 것이지만 이것이 다소(多少)나마 참고(參考)가 되어서 장차(將次) 국내(國內)의 고고학계(考古學界)의 연구조사사업(研究調査事業)에 보존과학자(保存科學者)들이 적극(積極) 참여(參與)하여 상호협조(相互協助) 및 공동연구(共同研究)에 의한 새로운 내용(內容)의 연구결과(研究結果)들이 많이 나오게 되기를 바라마지 않는다.

2. 材質調査 및 分析(재질조사 및 분석)

가. 化學成分 分析(화학성분 분석)

고고자료(考古資料)의 화학성분(化學成分)을 분석(分析)함은 그 자료(資料)의 재질조사(材質調査) 및 분류(分流), 제작기법(製作技法)의 확인(確認), 생산지(生產地) 또는 재료입수경로(材料入手經路)의 추정(推定) 등(等)에 유용(有用)한 Data를 제공(提供)하게 됨으로 널리 성행(盛行)되어 왔다. 그러나 자료(資料)의 성격상(性格上) 분석시료(分析試料)의 충분(充分)한 양(量)의 채취(採取)가 곤란(困難)한 경우(境遇)가 허다(許多)하여 분석방법(分析方法)에 관(關)한 연구개발(研究開發)이 활발(活潑)하게 진행(進行)되어왔다. 분석방법(分析方法)을 정(正)하는데 있어서 우선(優先) 고려(考慮)해야 할 사항(事項)은 다음과 같다.

(1) 가급적(可及的)이면 비파괴방식(非破壞方式)을 취(取)하여 유물자체(遺物自體)에 손상(損傷)이 없어야 한다. 그렇지 못하더라도 시료(試料)의 양(量)이 아주 미량(微量)이어야 한다.

(2) 분석(分析)이 신속(迅速)하게 진행(進行)될 수 있고 미량성분(微量成分)도 동시(同時)에 분석(分析)할 수 있어야 한다.

- (3) 동시(同時)에 가급적(可及的) 많은 종류(種類)의 원소(元素)를 분석(分析)할 수 있어야 한다.
- (4) 자동분석(自動分析)이 가능(可能)하여 많은 수(數)의 시료(試料)의 분석(分析)이 단시간(短時間內)에 진행(進行)될 수 있어야 한다.

第1表. 고고시료(考古試料)의 화학성분분석(化學成分分析)에 이용(利用)되고 있는 분석방법(分析方法)

분석기술분야 (分析技術分野)	최적응용분야 (最適應用分野)	분석(分析)되는 원소(元素) 또는 화합물(化合物).	적 요(摘要)
원자흡광분석 (元子吸光分析, Atomic Adsorption Spectroscopy)	초자(硝子), 금속(金屬), 골(骨), 흑요석(黑曜石)	약(約) 50종(種)의 금속원소(金屬元素).	간편(簡便)하고 정확(正確)함. 단(但), 장시간(長時間) 소요(所要)됨.
중성자방사화분석 (中性子放射化分析, Neutron Activation Analysis)	토자기(土磁器), 흑요석(黑曜石), 금속(金屬), 석기(石器), 골(骨), 초자(硝子)	40-60종(種)의 원소(元素).	연구용(研究用)원자로시설 (原字爐施設) 필요(必要)함
양자유도X-선방사법 (陽子誘導X-線放射法, Proton Induced X-ray Emission)	흑요석(黑曜石), 초자(硝子), 금속(金屬)	약(約) 25종(種)의 원소(元素).	비파괴식(比破壞式)완제품 (完製品)의 표면분석(表面分析)
X-선형광분석 (X-線螢光分析, X-ray Fluorescence)	금속(金屬), 초자(硝子), 안료(顏料)	원자번호(原子番號) 22이상(以上)의 원소(元素).	비파괴식(非破壞式) 표면분석(表面分析)에 가장 잘 이용(利用)됨.
전자선미량분석 (電子線微量分析, Electron Microprobe)	금속(金屬), 토기(土器), 초자(硝子), 골(骨)	원자번호(原子番號) 22이상(以上)의 원소(元素).	미세부(微細部)의 성분변화상태(成分變化狀態) 를 조사(調查)하는데 가장 적합(適合)함
핵자기공명분석 (核磁氣共鳴分析, Nuclear Magnetic Resonance)	有機試料, 안료(顏料), 호박(琥珀) 수지(樹脂), 유류(油類)	유기분자화합물 (有機分子化合物).	개체시료(個體試料)에 대(對)하여서는 Magic Angle Spinning NMR
적외선분광분석 (赤外線分光分析, Infrared Spectroscopy)		"	정성분석(定性分析)이 적합(適合)함.
광학적발광분석 (光學的發光分析, Optical Emission Spectroscopy)	토자기(土磁器), 금속(金屬), 초자(硝子)	30-40종(種)의 원소(元素).	보편적(普遍的)인 방법(方法)이며 저렴(低廉)함. 미량성분분석(微量成分分析) 에 적합(適合)함.

제(濟)1표(表)에는 현재 일반적(一般的)으로 사용(使用)되고 있는 화학성분(化學成分) 분석

방식(分析方式)을 요약정리(要約整理)하여 보았다. 이 표(表)에 의(依)한다면 위의 (1)~(3)의 조건(條件)을 만족(滿足)시킬 수 있는 방법(方法)으로서 중성자방사화분석법(中性子放射化分析法)과 X선형광분석법(線螢光分析法)을 들 수 있다. 금속(金屬), 토기(土器) 등(等)의 분석(分析)에 널리 응용(應用)될 수 있으며 국내(國內)에서도 이 방면(方面)의 연구(研究)가 활발(活潑)하게 진행(進行)되고 있다.

특(特)히 강조(強調)하고 싶은 점(點)은 분석대상(分析對象)유물(遺物)의 수가 증가(增加)되어 감에 따라서 분석(分析) Data를 Computer에 입력(入力)하여 Data Bank를 마련하고 이 Data들이 자료분석확인(資料分析確認)에 활용(活用)되어 나가야 한다는 점(點)이다. 미국(美國) Brook Haven 미국연구소(國立研究所)에서는 토기(土器)의 태토(胎土)의 화학성분(化學成分)에 관(關)한 중성자방사화분석(中性子放射化分析) Data를 약(約) 10,000건(建) 이상(以上) 보유(保有)하고 있어서 세계(世界) 각국(各國)에서 출토분석(出土分析)되는 결과(結果)들을 평가해석(平價解釋)하는데 많은 도움을 주고 있다.

X-선형광분석(線螢光分析)에 있어서도 분석시료(分析試料)의 규격화(規格化) 또는 확대(擴大)가 요망(要望)되고 있어서 가급적(可及的)이면 유물(遺物)을 변형(變形)시키지 않고 그대로 시료실(試料室)에 도입분석(導入分析)하는 방식(方式)이 개발(開發) 실용화(實用化)되고 있으며 이 방향(方向)의 연구(研究)가 더 발전(發展)되어가기를 요망(要望)을 하고 있다. 중성자방사화분석(中性子放射化分析) 미량(微量)의 시료(試料)로서 동시(同時)에 많은 수(數)의 원소(元素)를 분석(分析)할 수 있다는 장점(長點)이 있으나 연구용(研究用)원자로(原子爐)시설(施設)이 반드시 필요(必要)하다는 단점(短點)이 있다. 미국(美國) Smithsonian 연구소(研究所)의 S. Olin 연구원(研究員)은 이를 대신(代身)할 수 있는 방법(方法)으로서 양자(陽子)유도(誘導) X-선방사장치(線放射裝置, PIXE)를 이용(利用)하여 토기(土器)분석(分析)연구(研究) 등(等)에서 많은 성과(成果)를 거두고 있다. 이 방법(方法)은 방사화분석(放射化分析)을 대신(代身)할 수 있을 뿐만 아니라 그 방법(方法)에서도 분석(分析)하기 힘들었던 Si, Ti, Mg 등(等)의 원소(元素)를 분석(分析)할 수 있다는 장점(長點)도 지니고 있었다.

50mg 정도(程度)의 미량(微量)의 시료(試料)를 채취(採取)하여 분석(分析)할 수 있는 방법(方法)으로서 원자흡광분석법(原子吸光分析法)이 실용화(實用化)되고 있으며(주(主)로 금속시료(金屬試料)) 최근(最近)에는 시료분석(試料分析)의 자동화장치(自動化裝置)가 마련되어 있어서 분석시간(分析時間)이 단축(短縮)되고 취급(取扱)이 편리(便利)하게 마련되고 있다. 광학적발광분석장치(光學的發光分析裝置)로서는 미량(微量)의 시료(試料)로서 많은 수(數)의 원소(元素)를 동시(同時)에 정성확인(定性確認)하는데 유용(有用)하나 정량분석(定量分析)에서는 몇가지 문제점(問題點)이 있는 것으로 알려지고 있다. 유기물분석(有機物分析)에서는 여러 종류(種類)의 유기화학연구용(有機化學研究用) 기자재(機資材)가 활용(活用)되고 있는 바 그 중(中)에서 널리 알려진 방법(方法)으로서 핵자기공명분석(核磁氣共鳴分析, NMR, 특(特)히 고체시료(固體試料) 측정용(測定用)), 적외선(赤外線) 또는 자외선(紫外線) 분광분석법(分光分析法) 등이 있다. 고체시료(固體試料)로서 고수목(古樹木) 수지(樹脂)의 경화(硬化)로 얻어지는 호박(琥珀, Amber)을 ^{13}C NMR측정(測定)에 의하여 산지(產地)추정(推定) 연구(研究)한 것이 보고(報告)되고 있다.

적외선(赤外線) 또는 자외선분광분석(紫外線分光分析)은 유기안료(有機顏料) 등의 연구조사(研究調査)에 활용(活用)되고 있으며 주(主)로 정성분석(定性分析)에 치중(置重)되고 있다. 현대(現代) 분석기기(分析機器)의 발전(發展)에 따라서 종래(從來)의 것보다 시료(試料)의 취급(取扱)이 미량화(微量化) 및 자동화(自動化)되어 가고 있으며 분석(分析)정밀도(精密度) 및 감도(感度)도 향상(向上)되어 감에 따라서 여기에 소개(紹介)한 것 이외(以外)에도 여러 가지 새로운 분석법(分析法)들이 고고(考古)시료(試料)의 분석(分析)이 응용(應用)되고 있다.

근래(近來)에 보고(報告)된 것들 중에서 몇가지 소개(紹介)하여 본다면 도막측정(塗膜測定)에 응용(應用)되고 있는 FTIR-광음향법(光音響法, FTIR-Photoacoustic Spectroscopy) 철성분조사(鐵成分調査)에 전자선(電子線)마이크로 분석법(分析法, EPMA), 고대(古代) 염직물(染織物)의 천연염료분석연구(天然染料分析研究)에 응용(應用)되는 Thermospray LC-MS 등(等)이 알려져 있다.

국내(國內) 연구기관(研究機關)에도 여러 종류(種類)의 분석기기(分析機器)가 보유(保有)되고 있으므로 사용목적(使用目的)에 따라서 이들 기기(器機)가 활용(活用)되어 간다면 새로운 분석결과(分析結果)를 얻을 수 있겠고 이에 따라서 고고학(考古學) 연구(研究)의 수준(水準)이 향상(向上)되어 갈 것으로 기대(期待)되고 있다. 근래(近來) 국내(國內) 문화재연구소(文化財研究所)에 유기물조사분석용(有機物調査分析用) GC-MS분석기기(分析機器), 무기물분석조사용(無機物分析調査用) ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy) 등이 도입(導入) 실용화(實用化)되고 있는 점(點)들은 이러한 장차(將次) 국내(國內) 고고연구(考古研究) 수준향상(水準向上)에 크게 기여(寄與)할 수 있을 것으로 기대(期待)되고 있다.

나. 成分分析結果 資料化(성분분석결과 자료화)

화학적 성분(化學成分)의 분석결과(分析結果)를 평가(評價)하고 그 유물(遺物)의 본래재질(本來才質)의 성격(性格), 산지추정(產地推定), (국산(國產) 또는 외국제품(外國製品)의 수입(輸入) 여부(與否)), 연대별(年代別) 제작기법(製作技法)의 비교검토(比較檢討) 등(等)의 연구조사결과(研究調査結果)를 정리(整理)하여 유물(遺物)에 관(關)한 자료(資料)를 확보(確保)하는데 많은 노력(努力)이 집중(集中)되어 왔고 이 자료(資料)들을 참고(參考)로 하여서 고고학적(考古學的)인 연구결과(研究結果)가 보다 과학적(科學的)인 관점(觀點)에서 발표(發表)되어 왔다.

재질(材質)의 성격(性格)을 조사(調査)하는데 있어서 그 유물(遺物)을 분류(分類)하고 특성(特性)을 대표(代表)할 수 있는 화학성분(化學成分)을 선별(選別)하는데 노력(努力)하고 이를 위하여서는 통계학적(統計學的) 처리(處理) 및 수학적(數學的) 처리(處理)가 유효(有效)할 정도(程度)로 시료수(試料數)를 증가(增加)시켜 분석(分析)하여야 하였다. 국내에서도 도기(陶器), 토기(土器), 흑요석(黑曜石), 신안발굴(新案發掘) 중국고동전(中國古銅錢), 철(鐵), 금동(金銅), 청동(靑銅) 유물성분분석(遺物成分分析) 등의 분석연구(分析研究)에서 통계학적(統計學的) 방법(方法) 또는 수학적(數學的) 방법(方法)이 응용(應用)된 예(例)가 발표(發表)되고 있다.

그러나 일본(日本)에서 삼십씨(三辻氏) 등이 10년간(年間) 20개(個)의 토기(土器)를 분석(分析)하여 그 성분(成分) 중(中)에서 지역적(地域的)인 특성(特性)을 가려내는데 유효(有效)한 것을 선별(選別)한 예(例), 미국(美國) Brook Haven 연구소(研究所)에서 토기분석(土器分析)에 관한 중성자방사화분석결과(中性子放射化分析結果)의 약(約) 10,000건(件)에 해당(該當)하는 Data를 Computer에 입력(入力) Data Base로서 활용(活用)하는 것 등(等)에 비교(比較)하여 본다면 현재(現在)까지의 연구결과(研究結果)들을 토대(土臺)로 하여서 보다 더 광범(廣範)한 범위(範圍)에서의 시료채취(試料採取), 분석(分析), 평가(評價) 등이 진행(進行)되어 가서 고고유물(考古遺物)의 재질(材質)이 보다 더 다각도(多角度)로 동정(同定) 및 자료화(資料化)되어 가기를 바라고 싶다. 현재(現在)까지 보고(報告)된 내용(內容)들 중에서 참고(參考)가 될 만한 것 몇가지를 소개(紹介)하여 보고자 한다.

연구대상(研究對象)으로서는 다량(多量)의 시료입수(試料入手)가 용이(容易)한 금속(金屬),

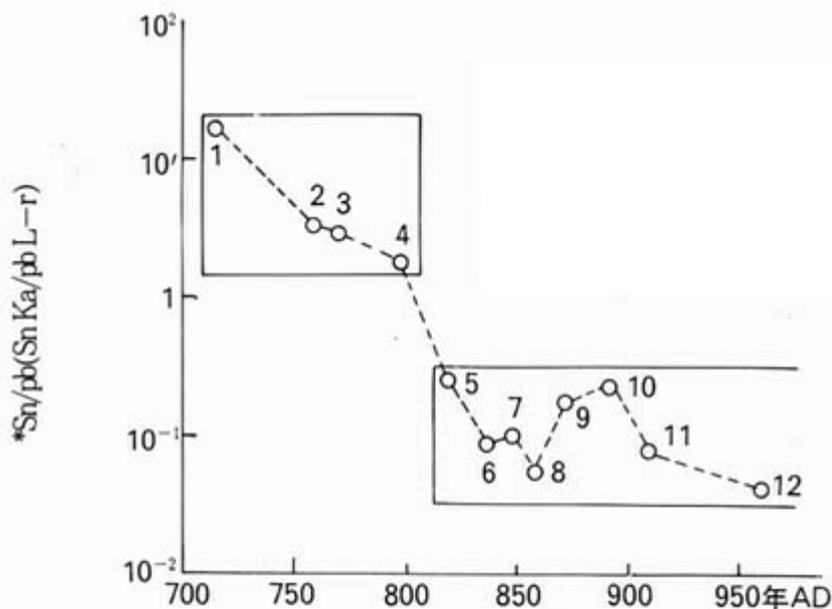
도기(陶器), 토기(土器) 등(等)의 조사연구(調查研究)가 주(主)가 되어 왔으나 근래(近來)에는 유리, 패류(貝類), 유기질유물(有機質遺物) 등(等)의 것들도 연구대상(研究對象)이 되어가고 있다.

(1) 金屬遺物의 年代別 材質調查(금속유물의 연대별 재질조사)

일본(日本)의 택전(澤田) 연구(研究)에 의(依)한다면 일본(日本) 황조십이전(皇朝十二錢)의 고동철(古銅鐵)의 주성분중(主成分中) 석(錫)과 연(鉛)의 성분함량(成分含量)이 시대별(時代別)로 변화(變化)가 있음을 확인(確認)하고 있다. 이들 동전(銅錢)은 AD 708년(年)-958년(年) 약(約) 250년간(年間)에 주조(鑄造)된 것이 알려지고 있었으나 그 성분(成分)이 주조연대(鑄造年代)가 강하(降下)됨에 따라서 석(錫)이 감소(減少)하고 연(鉛)이 증가(增加)되는 경향(傾向)이 있음이 제(第)1도(圖)에서 보여주는 바와 같았다. 간단(簡單)한 것 같기는 하지만 이 조사결과(調查結果)로서 주조방식(鑄造方式)의 시대별(時代別) 변화(變化), 더 나아가서는 이러한 주조방식(鑄造方式)이 있게 된 그 당시(當時) 고사회환경(古社會環境)을 추정(推定)할 수 있는 객관적(客觀的)인 자료(資料)로서 높이 평가(評價)되고 있다.

(2) 琥珀(Amber)의 產地推定(호박의 산지추정)

호박(琥珀)은 지질시대(地質時代)의 식물(植物)의 수지(樹脂)가 지중(地中)에 매몰(埋沒)되어 시간경과(時間經過)에 따라서 화학변화(化學變化)를 일으켜 경화(硬化)된 보석(寶石)의 일종(一種)으로서 고대(古代)로부터 장신구(裝身具)로서 애용(愛用)되어 왔었다.



第1圖 皇朝十二錢의 鑄造年代와 Sn/Pb의 比

*Sn量에 對한 pb量

例: 7번 Sn數 % 以下, pb 20% 增加

第 1 圖 皇朝十二錢의 鑄造年代와 Sn/Pb의 比

이 유물(遺物)의 주성분(主成分)은 호박산(琥珀酸)의 함유량(含有量)과 분포상태(分布狀態)를 적외선분광분석(赤外線分光分析), H-NMR, ESR, X-선회절(回折), TLC, GC 등(等)의 분석기기(分析機器)를 사용(使用)하여 분석조사(分析調査)를 하여 보았으나 뚜렷한 출토지역별(出土地域別) 차이점(差異點)을 가려내지 못하고 있었다. Lambert는 구주출토(歐洲出土) 호박시료(琥珀試料)를 수집(收集)하여 그 C-NMR(고체시료용(固體試料用) : Magic Angle Spining)을 조사(調査)하여 본 결과(結果) 크게 3종류(種類)의 것으로 대별(大別)됨을 확인(確認)할 수 있었다. 즉(卽) 스트시닛트(Succinite)로 대표(代表)되는 북부구주산(北部歐洲產) <Poland 북부(北部), 독일 북부(北部) 등의 발트연안지역(沿岸地域) 및 북해 연안지역(沿岸地域)>의 것에서는 C-NMR 스펙트라에서 Exomethylene Group(X=CH₂) 흡수(吸收) Peak가 있었으나 루마닛트(Rumanite)로 대표(代表)되는 남부구주산(南部歐洲產)(이태리, 루마니아, 오스트리아, 체코슬로바키아 등(等))의 것에서는 이 흡수(吸收) Peak가 나타나지 않고 있었다. 이 결과(缺課)는 호박(琥珀)을 구성(構成)하는 원료(原料)인 고수목(古樹木)의 수종(樹種)이 그 당시(當時)의 지역별(地域別)로 차이(差異)가 있었음에 기인(起因)하는 것으로 고찰(考察)되어 있고 고대환경(古代環境)의 자연여건(自然與件)을 추정(推定)하는데 크게 도움을 주고 있다.

(3) 保存環境 差異에 따르는 化學成分의 變化(보존환경 차이에 따르는 화학변화)

유물중(遺物中)에는 보존환경(保存環境)에 따라서 주변(周邊)의 화학물질(化學物質)들과의 상호성분교환(相互成分交換)이 일어나기 쉽고 이러한 변화(變化)는 그 유물(遺物)의 재질(材質)에 따라 크게 차이(差異)를 보여주고 있다.

미국(美國) Coughlin 연구원(研究員)은 북(北) Corolina 해안지방(海岸地方)에 매몰(埋沒)된 패류(貝類)(약(約) 2700년전(年前) Indian족(族)에 의(依)하여서 폐기(廢棄)된 것)를 발굴(發掘)하여 고대패류(古代貝類)와 근대패류(近代貝類)의 화학성분(化學成分)을 비교분석(比較分析) 검토(檢討)한 결과(結果)(중성자방사화분석(中性子放射化分析)으로 성분조사(成分調査)) 고대패류(古代貝類)의 것보다 현대패류(現代貝類)의 것은 비소함유량(砒素含有量)이 15% 정도(程度) 증가(增加)되고 있었다. 그 이유(理由)로서는 사회생활환경(社會生活環境)의 차이(差異)에서 초래(招來)된 것으로 고찰(考察)되고 있으며 현대(現代)에서는 비소함유물(砒素含有物)을 함유(含有)한 농약류(農藥類) 등(等)의 사용(使用)이 증가(增加)되어 그 성분(成分)에 침식(侵蝕)된 것으로 고찰(考察)되고 있다. 군용기지(軍用基地) 근처(近處)에서 출토(出土)된 패류(貝類)에서는 Fe, Hf, Au, Ho, Nb 등(等)의 화학성분(化學成分)의 함량(含量)이 40-50% 정도(程度)로 증가(增加)되고 있었으며 그 이유(理由)로서 군용기지(軍用基地) 부근(附近)의 환경오염(環境汚染)에 기인(起因)하는 것으로 고찰(考察)되고 있다.

이러한 예(例)들은 고고유물(考古遺物)에 있어서 그 재질(材質)이 주변환경(周邊環境)의 영향(影響)을 받고 있음을 보여주는 것으로서 유물(遺物)의 화학성분(化學成分) 분석결과(分析結果)의 평가(評價)에서 유물(遺物)의 재질(材質)에 따라서 간접적(間接的)이지만 그 유물(遺物)의 보존환경(保存環境)의 자연여건(自然與件)을 추정(推定)할 수 있는 Data를 얻을 가능성(可能性)이 있음을 시사(示唆)하여 주고 있다. 환경오염문제(環境汚染問題)가 심각(深刻)하게 되어가고 있는 국내실정(國內實情)을 감안(勘案)할 때 유물발굴(遺物發掘) 및 조사분석(調査分析) 평가(評價)에 반드시 참작(參酌)되어야 할 사항(事項)으로 사료(史料)된다.

다. 製作技法 調査(제작기법 조사)-(Massbauer 분광법(分光法))

독일(獨逸)의 Massbauer는 이리듐(Ir) 원소(元素)에 γ -선(線)을 조사(調査)하면 이 원자

핵(原子核)이 어느 특정(特定)한 파장(波長)의 γ -선(線)을 흡수(吸收)하는 것을 발견(發見)하였다. 이와 같이 원자핵(原子核)이 특정(特定)한 파장(波長)의 γ -선(線)을 흡수(吸收)하거나 산란(散亂)시키는 현상(現象)을 Massbauer 효과(效果)라고 부르고 있다. 토기(土器), 석기(石器) 등과 같이 철(鐵)을 함유(含有)한 물질(物質)(유물(遺物))에 조사(調查)시키는 γ -선(線)의 파장(波長)을 조금씩 변화(變化)시켜 가면 Massbauer 효과(效果)에 의(依)하여서 어느 특유(特有)한 파장(波長)에서 흡수(吸收)나 산란(散亂)이 일어나나(이것을 공명흡수(共鳴吸收) 또는 공명산란(共鳴散亂)이라고 함)이 파장(波長)은 철원자(鐵原子)의 화학상태(化學狀態)에 따라서 조금씩 변화(變化)한다.

따라서 역(逆)으로 어느 파장(波長)의 γ -선(線)이 공명흡수(共鳴吸收)(또는 산란(散亂))되는가를 측정(測定)하면 마치 내시경(內視鏡)에 의(依)하여서 체내(體內)를 진단(診見)하는 것과 같이 물질(物質)(유물(遺物)) 내의 화학적(化學的)인 상태(狀態)에 관한 정보(情報)를 얻을 수 있게 된다. 이것을 Massbauer 분광법(分光法)이라고 한다.

이 방법(方法)에 의(依)한 분석(分析)에는 투과법(透過法)(흡수법(吸收法))과 산란법(散亂法)이라 하는 두 가지 종류(種類)의 측정법(測定法)이 있으며 전자(前者)는 분말화(粉末化)한 분석시료(分析試料)를 투과(透過)하는 γ -선(線)의 공명흡수(共鳴吸收)를 측정(測定)하는 것이고 후자(後者)는 평면상(平面狀)의 분석시료(分析試料)의 평면(平面)으로부터 공명산란(共鳴散亂)된 γ -선(線) 또는 전자선(電子線)을 측정(測定)하는 것이다.(철(鐵)의 경우(境遇) γ -선선원(線線源)으로서는 Co-57핵종(核種)이 사용(使用)되고 있다)

이 방법(方法)으로 고대유물(古代遺物)의 제작기법(製作技法)이 구명(究明)되고 있는데 몇 가지 중요(重要)한 것들을 소개(紹介)하여 보면 다음과 같다.

(1) 土器나 瓦의 製作技法(토기나 와의 제작기법)

토기(土器), 도기(陶器), 석기(石器) 등(等)의 유물(遺物)은 점토(粘土)를 소재(素材)로 하여서 성형(成形)하고 소성(燒成)시켜 제작(製作)된다. 점토(粘土)에는 철(鐵)이 함유(含有)되고 있으므로 유물중(遺物中)의 Massbauer스펙트라에는 원료(原料)인 점토광물(粘土礦物)의 산지(產地)에 따른 광물학적(礦物學的) 특징(特徵)이나 소성과정(燒成過程)에서 일어났던 점토중(粘土中)의 원자(原子)의 결합(結合)이나 배열방식(配列方式)이 변화(變化)되어 가는 과정(過程)들이 반영(反映)될 수 있게 된다. 이러한 현상(現象)을 이용하여 유물(遺物)을 식별(識別)하든가 제작기법(製作技法)을 추정(推定)하고 있다.

영국남부(英國南部)의 두 곳의 중세유적(中世遺蹟) 지-므(Cheam)와 킹스톤(Kingston)으로부터 출토(出土)한 도기(陶器)들은 외관(外觀)(색(色))이 서로 아주 유사(類似)하였음에도 불구하고(不拘)하고 그 Massbauer 스펙트라는 전혀 달라서 식별(識別)할 수 있게 되었다.

이와 같이 Massbauer스펙트라를 일종(一種)의 지문(指紋)으로 하여서 토기(土器), 도기(陶器) 등(等)을 식별(識別) 및 분류(分類)하는 것이 성행(盛行)되고 있다. 유물(遺物)의 보존환경(保存環境)에 따라서 장시간(長時間)에 걸쳐서 유물중(遺物中)의 철원자(鐵原子)의 화학상태(化學狀態)(원자가(原子價))가 변화(變化)되는 경우(境遇)가 많으며 이러한 것에서는 그 철원자(鐵原子)의 특징(特徵)이 Massbauer스펙트라에 명확(明確)히 나타나지 않게 되어 지문(指紋)의 역할(役割)을 할 수 없으나 토기(土器), 와(瓦), 석기(石器) 등(等)의 원소조성(元素造成)에서는 이 보존환경(保存環境)에 의한 변화(變化)보다도 원래(元來)의 성분(成分)을 그대로 유지(維持)하고 있기 때문에 이 방법(方法)이 지문(指紋)의 역할(役割)을 할 수 있는 것이다.

(2) 繪畫의 顔料調査(회화의 안료조사)

고회화(古繪畫)나 조각(彫刻)의 시대(時代)나 작자(作者)를 감정(鑑定)하기 위하여서는 X-선(線)을 위시(爲始)하여 그들이 재질(材質)을 조사(調查)할 수 있는 여러 가지 방법(方法)이 사용(使用)되고 있다.

서양(西洋)의 회화(繪畫)의 안료(顏料)나 데라콧타(점토(粘土) 고미술품(古美術品))와 같은 고미술품(古美術品)에는 철(鐵)을 성분(成分)으로 함유(含有)하는 것이 적지 않으며 이들 중(中)에 함유(含有)되고 있는 철(鐵)의 상태(狀態)는 제작자(製作者)의 기법(技法)에 따라서 다름으로 Massbauer분광법(分光法)으로 상태분석(常態分析)을 진행(進行)시켜 보면 식별(識別)한 근거(根據)를 얻게 되는 수가 많다.

미국(美國)의 게이쉬(Keisch)는 회화(繪畫) 등(等)의 표면(表面)에 Co-57 γ -선(線)을 조사(照射)시켜 산란(散亂)된 γ -선(線)을 측정(測定)하는 Massbauer산란법(散亂法)의 장치(裝置)를 설계(設計) 제작(製作)하였고 이것을 사용(使用)하여 60종류(種類)가 넘는 대표적(代表的)인 안료(顏料)의 Massbauer스펙트라를 조사(調查)하여 회화(繪畫)의 안료(顏料)가 사용(使用)된 시대(時代)나 지역(地域)에 따라서 스펙트라가 다르게 나옴을 확인(確認)하였으며 이것을 지문(指紋)으로 삼아서 식별(識別)할 수 있음을 구명(究明)하였다.

그는 이 방법(方法)을 써서 워싱턴 국립미술관(國立美術館)에 소장(所藏)되어 있는 고회화(古繪畫)의 스펙트라를 측정(測定)하여 이것을 기지(既知)의 안료(顏料)의 스펙트라와 비교(比較)하여 그 회화제작(繪畫製作)에 사용(使用)된 안료(顏料)의 동정(同定)을 시도(試圖)하였다.

이와같이 산란법(散亂法)은 귀중(貴重)한 시료(試料)에 전(全)혀 악영향(惡影響)을 주지 않는 우수(優秀)한 분석법(分析法)이라고 할 수 있다.

(3) 金屬器의 腐蝕調査(금속기의 부식조사)

철기(鐵器)나 청동기(靑銅器) 등(等)의 금속유물(金屬遺物)은 철(鐵)이나 석(錫)이 주성분(主成分)이거나 또는 상당(相當)한 양(量)을 함유(含有)하고 있으므로 철(鐵) 또는 석(錫)의 Massbauer스펙트라를 측정(測定)하여 그 유물(遺物)의 화학상태(化學狀態)를 조사(調查)할 수 있게 된다. 금속기(金屬器)는 부식(腐蝕)에 의(依)하여서 표면(表面)에 녹이 생성(生成)되기 쉬우나 유물(遺物)의 표면(表面)이 어떠한 내용(內容)의 것으로 부식(腐蝕)되는가를 조사검토(調査檢討)함은 보존과학(保存科學)의 입장(立場)에서 볼 때 매우 중요(重要)한 과제(課題)가 된다.

청동제유물(靑銅製遺物)의 예(例)로서 부영(富永) 등(等)은 7세기(世紀) 이후(以後)의 중국(中國) 및 일본(日本)의 고전(古錢)에 대하여서 그 석성분(錫成分)의 화학상태(化學狀態)를 조사(調查)하여 보았다. 고전(古錢)을 분말(粉末)로 하여서 투과법(透過法)으로 Massbauer스펙트라를 취(取)하여 보면 합금상태(合金狀態) Sn(O), Sn(IV)산화물(酸化物)의 이중(二種)의 화학상태(化學狀態)가 있음을 알 수 있었다. 북송(北宋)의 고전(古錢) 원풍통보(元豐通寶)(AD 11)에 관(關)하여서 표면(表面)의 녹과 녹을 제거(除去)한 내부(內部)의 것의 Massbauer스펙트라를 조사(調查)한 바 부분(部分)의 것은 Sn의 대부분(大部分)이 Sn(IV)산화물(酸化物) 상태(狀態)의 것이었고 녹을 제거(除去)한 내부(內部)의 것은 Sn이 대부분(大部分) 합금상태(合金狀態)(O)인 경우(境遇)가 많았으나 고전(古錢) 내부(內部)에 아직도 상당(相當)한 양(量)의 Sn(IV)산화물(酸化物)이 관찰(觀察)되는 경우(境遇)도 있어서 이것은 당시(當時)의 화폐주조기법(貨幣鑄造技法)에 관(關)한 자료(資料)로서 활용(活用)될 수도 있었다.

이 예(例)와 같이 녹을 떼어내지 않고 원래(原來) 상태(狀態)의 것을 그대로 산란전자(散亂電子) Massbauer 분광법(分光法)으로 비파괴형식(非破壞形式)으로 조사(調查)할 수도 있으며 북송시대(北宋時代)의 고전(古錢) 상부원보(祥符元寶)(AD 11)의 것을 조사(調查)한 바 표면

(表面)으로부터 깊이 수천(數千) Å까지의 층(層)에는 거의 부식(腐蝕)을 일으켜서 Sn(IV)산화물(氧化物)이 되어있음을 관찰(觀察)할 수 있었다. 청동제품(靑銅製品) 이외(以外)의 금속유물(金屬遺物)로서 철기(鐵器), 금제품(金製品) 등(等)에 관(關)하여서는 이 방법(方法)으로 조사(調査)할 수 있다.

금제품(金製品)의 경우(境遇) 시료(試料)를 액체(液體)헬륨으로 아주 낮은 온도(溫度)까지 냉각(冷却)시킬 필요(必要)가 있으나 부판형상(簿板形狀)의 금면유물(金面遺物)이면 투과법(透過法)으로도 비파괴적(非破壞的)으로 분석(分析)할 수 있으므로 많은 연구(研究)가 진행(進行)되어 가고 있다.

라. 産地의 推定(同位元素比 測定評價) (산지의 추정(동위원소비 측정평가))

유물(遺物)의 화학성분(化學成分)을 평가분석(評價分析)하여 그 원산지(原産地)를 추정(推定)하는 예(例)는 나항(項)에서 소개(紹介)한 바 있으나 금속(金屬) 유리제품(製品) 등(等)의 성분중(成分中) 원료광물(原料鑛物)의 동위원소비(同位元素比)를 현재(現在) 광상(鑛床)의 원광(原鑛)의 것과 상호비교(尙弧比較)하는 방법(方法)으로서 원산지(原産地)를 추정(推定)하는 방법(方法)이 알려지게 되었다.

특(特)히 납(Pb)의 동위원소비(同位元素比)를 추정(推定) 이용(利用)하는 방법(方法)이 미국(美國) Corning Glass 박물관(博物館)의 화학자 부릴(R. H. Brill)에 의(依)하여서 1960년대(年代) 중반(中盤)에 연구(研究)되어 고대(古代) 유리의 산지분류(産地分類)에 응용(應用)되기 시작(始作)하였고 일본(日本)에서는 1976년경(年頃)부터 청동기(靑銅器) 중(中)의 납의 동위원소비(同位元素比) 측정(測定)에 의(依)한 산지추정(産地推定) 연구(研究)가 진행(進行)되었고 특(特)히 고경(古鏡), 동탁(銅鐸) 등의 산지추정(産地推定) 결과(結果)가 발표(發表)되어 고대(古代)의 중국(中國), 한국(韓國), 일본(日本) 간의 문화교류(文化交流)에 관(關)한 많은 지견(知見)을 얻고 있다.

국내(國內)에서도 1991년(年)에 미륵사지(彌勒寺址) 출토(出土) 연(鉛) 유리의 동위원소비(同位元素比)를 측정(測定)하여 그 중(中)의 연(鉛)이 한반도(韓半島) 북위(北緯) 37° 이북(以北)의 것임을 확인(確認)하고 있다. 지구생성기(地球生成期)의 고세대(古世代)에 생성(生成)된 원시연(元始鉛)에는 우라늄이나 토륨이 방사성붕괴(放射性崩壞)함으로써 생성(生成)된 연(鉛)의 동위원소(同位元素)가 부가(附加)되는 것으로서 우라늄의 경우(境遇) Pb-206, Pb-207, 토륨의 경우(境遇) Pb-208이 생성된다.(연(鉛)의 동위원소(同位元素) : Pb-206, Pb-207, Pb-208)

이와 같은 연동위원소(鉛同位元素)는 광상생성(鑛床生成)의 시기(時期)와 그 지역(地域)의 차이(差異)에 따라서 변동(變動)된다. 따라서 유물중(遺物中)의 연성분(鉛成分)의 동위원소비(同位元素比)를 측정(測定)하고 이 값을 그 유물(遺物)과 관련(關聯)이 있는 각(各) 지역(地域)의 연원광물(鉛原鑛物) 중의 연동위원소비(鉛同位元素比)와 상호(相互) 비교(比較) 평가분석(評價分析)하여 보면 그 유물(遺物)의 원산지(原産地)를 추정(推定)할 수 있게 된다.

이 방법(方法)은 연(鉛) 이외(以外)의 것에 대(對)하여서도 유물(遺物) 성분(成分) 중(中)의 광물(鑛物)의 동위원소비(同位元素比)와 관련(關聯)된 원광물(原鑛物)의 것을 상호(相互) 비교(比較)하여 뚜렷한 결과(結果)를 얻을 가능성(可能性)이 있는 것이면 모두 적용(適用)될 수 있게 되며 그 추정결과(推定結果)가 지역적(地域的)으로 명확(明確)하게 나타날 수 있어서 많은 관심(關心)을 끌어들였다.

동위원소(同位元素)는 질량분석계(質量分析計)로 측정(測定)하며 동위원소(同位元素) 종류(種類)(즉(卽) 그 원소(元素)의 질량수(質量數))에 따라서 분석(分析)하기 쉽게 설계(設計) 제

작(製作)된 것들이 사용(使用)되고 있다. 납 이외(以外)의 광물(鑛物)의 동위원소비(同位元素比) 측정방식(測定方式)으로서 스트론튬(Sr-84, 86, 87, 88 등(等))이 토기(土器), 와(瓦)의 산지추정(產地推定)에 응용(應用)되고 있다. Sr-87은 천연(天然)에 존재(存在)하는 장수명핵종(長壽命核種) Rb-87의 방사성붕괴(放射性崩壞)로 생성(生成)됨으로 지구상(地球上)의 동위원소비(同位元素比)가 지역별(地域別)로 변동(變動)될 수 있다.

고고학시료(考古學試料)의 지문(指紋)으로 이용(利用)될 수 있게 하기 위(爲)하여서는 동위원소비(同位元素比) 측정(測定) Data는 공통(共通)된 흠점(欠點)을 지니고 있다. 즉(卽) 산지(產地)가 틀려도 우연(偶然)히 동위원소비(同位元素比)가 같아질 가능성(可能性)이 있다. 따라서 확실성(確實性)을 증가(增加)시키기 위하여서는 원소함유량(元素含有量) 등과 병행(並行) 관련(關聯)시켜 조사(調査)되어야 한다.

동위원소비(同位元素比) 조사대상(調査對象)으로서 유망(有望)한 것에는 (⁷Li, ⁶Li)(¹¹B, ¹⁰B)(¹⁵N, ¹⁴N)(²⁶Mg, ²⁴Mg)(³⁰Si, ²⁸Si)(³⁴S, ³²S)(¹⁵⁸Cd, ¹⁵⁷Cd)(⁸⁷Sr, ⁸⁶Sr)(¹⁴³Nd, ¹⁴⁶Nd) 등(等)이 고려(考慮)될 수 있으며 각각(各各)의 유물(遺物)의 성분(成分)과 관련(關聯)시켜 연구조사(研究調査)가 진행(進行)되어 간다면 좋은 결과(結果)를 거둘 수 있을 것으로서 기대(期待)되는 바 있다.

마. 衣料用 撮影機術을 應用한 遺物調査(의료용 촬영기술을 응용한 유물조사)

유물(遺物)의 재질조사(材質調査)와 병행(並行)시켜 그 내부(內部) 구조(構造)를 조사(調査)하는데 일반적(一般的) 촬영기술(撮影技術), X-선(線) 투과촬영(透過撮影), γ -선(線) 투과촬영(透過撮影)(NDT) 적외선촬영(赤外線撮影), 자외선촬영(紫外線撮影), 형광사진촬영(螢光寫眞撮影) 등(等)은 이미 널리 알려져 있어서 실용화(實用化)되고 있다.

근래(近來)에는 의료용(醫療用)으로 개발(開發) 이용(利用)되고 있는 X-선(線) 컴퓨터 단층촬영장치(斷層撮影裝置)를 이용(利用)하는 예(例)가 발표(發表)되어 있고 인체(人體)의 크기와 유사(類似)한 목조조각불상(木造彫刻佛像)의(예 : 높이 1m의 금박형(金箔型) 목조불상(木造佛像)) 구조조사(構造調査)에 이용(利用)되고 있다.

위검진용(胃檢診用)으로 사용(使用)되고 있는 초소형(超小型) 카메라를 불상대내검사(佛像胎內檢査)에 응용(應用)하여 태내부(胎內部)에 있었던 인각각자(印刻刻字)를 확인(確認)할 수 있었던 예(例)도 보고(報告)되고 있다.

국내(國內) 의료계(醫療界)에서의 이러한 기기(機器)들의 촬영기술(撮影技術)은 우수(優秀)하므로 장차(將次) 고고유물(考古遺物) 구조조사(構造調査)에 활용(活用)되어 간다면 좋은 결과(結果)를 얻을 수 있을 것으로 기대(期待)되는 바 있다(초음파측정법(超音波測定法), NMR 측정법(測定法) 등(等)도 연구대상(研究對象)이 되어 가고 있다).

3. 연대측정(年代測定)

고고시료(考古試料)(유물(遺物), 유적(遺蹟) 등(等))의 연대측정(年代測定)에는 자연과학(自然科學) 각(各) 분야(分野)에서 여러 가지 방법(方法)들이 연구개발(研究開發)되어 사용(使用)되어 왔다. 본고(本稿)에서는 주(主)로 화학분야(化學分野)에 관련(關聯)된 것들만을 정리 요약(整理要約)하여 보았다.

제(第)2표(表)에 요약(要約)되어 있는 방법(方法)들이 현재(現在)까지 응용(應用)되어 온 것들이다. 국내(國內)에서는 출토유물(出土遺物) 또는 유적(遺蹟)의 연구(研究)가 대부분(大部分) 유사시대(有史時代) 이후(以後)의 것들에 국한(局限)되어 왔었던 관계(關係)로 주(主)로

방사성 탄소(放射性炭素) 연대측정법(年代測定法)만이 연구조사(研究調査)되어 왔으나 장차(將次) 선사시대(先史時代) 및 원시시대(原始時代)의 유물(遺物), 유적(遺蹟)들에 대한 연대측정(年代測定)이 반드시 필요(必要)하게 될 것으로 예상(豫想)된다.

방사성 탄소(放射性炭素) 연대측정법(年代測定法)에 있어서도 종래(從來)의 방법(方法)에서 경험(經驗)하고 있었던 시료량(試料量)에 따른 연대상한선문제(年代上限線問題) 측정시간(測定時間) 및 측정오차문제(測定誤差問題) 등(等)에 관(關)한 장단점(長短點)들을 보완(補完)하기 위(爲)한 새로운 방식(方式)이 가속질량분석법(加速質量分析法)으로서 연구개발(研究開發)되어 실용화(實用化)되어 가고 있다.

이하(以下) 각(各) 연대측정법(年代測定法)의 내용(內容)들을 약술(略述)하여 보고자 한다.

가. 放射性炭素 年代測定法(加速質量分析法의 應用)

(방사성 탄소 연대측정법(가속질량분석법의 응용))

종래(從來)의 방법(方法)에서는 측정시료(測定試料)로서 수(數)g 정도(程度)의 탄소(炭素)가 필요(必要)하였고 측정시간(測定時間)도 1일(日) 이상(以上) 소요(所要)되었던바, 미량식(微量式) 계측기(計測器, Micro Scale detector)가 개발(開發)되므로 10mg 정도(程度)의 시료(試料)로서도 연대측정(年代測定)이 가능(可能)하게 되었으나 계측기(計測器) 주변(周邊)의 현대탄소(現代炭素)에 의(依)한 오염(汚染)으로 인(因)하여서 정확(正確)한 결과(結果)를 얻기가 매우 힘들게 되었다.

이러한 단점(短點)들을 개량(改良)하기 위(爲)하여서 개발(開發)된 것이 가속질량분석법(加速質量分析法, HEMS)이다. 이 방법(方法)에서는 Van de Graaf 정전기가속장치(靜電氣加速裝置) 또는 Cyclotron을 사용(使用)하여 시료입자(試料粒子)를 수백만(數百萬) 전자(電子)볼트의 높은 에너지의 것으로 가속(加速)하여(보통(普通) 질량분석기(質量分析器)에서는 수천(數千)볼트 정도(程度)로 가속(加速)함) 질량수(質量數) 14인 질소동위원소(窒素同位元素) 및 $^{13}\text{CH}_2$, ^{13}CH 입자(粒子) 등(等)을 제거(除去)하고 정전장(靜電場)과 자장(磁場)에 의(依)하여서 각각(各各)의 에너지를 분석(分析)하고 질량분석(質量分析)하여서 삼가(三加)의 질소양(窒素陽)이온만을 선별(選別)한다. 그리고 안정동위원소(安定同位元素)인 ^{12}C 와 ^{13}C 은 Faraday Cup 검출기(檢出器)에 충돌(衝突)시켜 이온의 방전(放電)을 전류(電流)로 바꾸어서 계측(計測)한다.

한편 탄소(炭素) -14이온은 Plastic 부막(簿膜)을 통과(通過)시켜 불순입자(不純粒子) 제거 후(除去後) 중(重)이온 검출기(檢出器)로 에너지를 검지(檢知)하면서 계측(計測)한다. 이 계측 결과(計測結果)를 연대기지(年代既知)의 표준탄소시료(標準炭素試料)의 것과 비교(比較)하여 그 연대(年代)를 측정(測定)하게 된다. 이 방법(方法)에 의(依)한다면 종래(從來)의 β -선(線)을 계측(計測)하는 간접법(間接法)에 비교(比較)하여 효율(效率)이 훨씬 높아져서 5만년(萬年) 정도(程度)의 연대(年代)의 시료(試料)는 탄소(炭素)로서 2~3mg 정도(程度)이면 그 연대측정(年代測定)에 충분(充分)하다. 2mg 정도(程度)의 현대탄소(現代炭素)에서는 탄소(炭素) -14원자(原子)를 계수(計數)할 수 있으나 β -선(線) 계수법(計數法)과 같은 정도(程度)의 정밀도(精密度)를 기대(期待)하더라도 약(約) 5시간(時間) 정도(程度)이면 충분(充分)하다.

제2표 고고시료의 연대측정법(화학분야에 관련된 것)

측정방법(測定方法)	측정대상물(測定對象物)	측정가능(測定可能) 연대상한(年代上限)	비고(備考)
방사성 탄소(放射性炭素) 연대측정법(年代測定法) · 종래방법(從來方法) · 가속(加速)질량(質量) 분석법(分析法) (HEMS)	유기물(有機物), 목탄(木炭), 이탄(泥炭), 골(骨), 토기(土器) 밀바닥의 그을(매(煤)), 기타(其他) 탄소 함유물(炭素含有物)	· 약(約) 4~5만년(萬年) · 약(約) 6~10만년(萬年)	· 측정오차(測定誤差) ±1% 시료량(試料量) : 0.5~수(數)g · ±200~100sus 시료량(試料量) : 탄소(炭素) 1mg
아미노산(酸) 연대측정법(年代測定法)	화석골(化石骨), 패(貝), 치아(齒牙), 기타(其他) 아미노산(酸) 함유물(含有物)	약(約) 100만년(萬年) 이상(以上)	
열형광(熱螢光) 연대측정법(年代測定法)	토기류(土器類)	약(約) 100만년(萬年)	시료(試料) : 직경(直徑) 0.1mm 미립자(微粒子) 직경(直徑) 0.03mm 석영(石英) 또는 장석입자(長石粒子)
Fission Track법(法)	우라늄 농도(濃度)가 높은 광물(鑛物), 계수면적(計數面積)이 확실(確實)한 유리, 지르콘 등	약(約) 10억년(億年)	
ESR 연대측정법(年代測定法)	화석골(化石骨), 지(紙), 칠(漆), 피(皮), 패(貝), 각(殼), 유공화석(有孔火石), 종유석(鐘乳石)	100만년(萬年) 이상(以上)	
흑요석(黑曜石)의 가수화층측정법(加水化 層測定法)	흑요석(黑曜石)	50만년(萬年)	

현재(現在)까지 가장 좋은 결과(結果)로서 탄소시료(炭素試料) 1mg 측정시간(測定時間) 1시간(時間) 정도(程度)에서 계수오차(計數誤差)는 ±200년(年)이고 측정연대(測定年代) 상한(上限)은 5~6만년(萬年) 이었다. 장차(將次) 기술(技術)이 발달(發達)되고 시료(試料)의 농축방법(濃縮方法)이 병행(並行) 개량(改良)되어 간다면 측정오차(測定誤差) ±100년(年), 측정상한선(測定上限線) 10만년(萬年)까지 도달(到達)될 수 있다고 전망(展望)되고 있다.

일본(日本)에서는 이 방법(方法)을 이용(利用)하여서 철제품(鐵製品) 철재내(鐵材內) 함유탄소(含有炭素)를 연대측정(年代測定)하여 그 철기(鐵器)의 연대(年代)를 추정(推定)하고 있으며 견시료(絹試料)(2×1cm 크기, 탄소량(炭素量) 9.1mg 정도(程度))의 탄소(炭素) 연대측정(年代測定)도 가능(可能)하게 되고 있다.

나. 열형광 연대측정법(熱螢光 年代測定法)

방사성 탄소연대측정법(放射性炭素年代測定法)은 흔히 출토(出土)되고 있는 고유물(古遺物)인 도기(陶器), 토기(土器)의 연대측정(年代測定)에 대(對)하여서는 거의 무효(無效)이다. 소성(燒成)된 도자기(陶瓷器)들은 근동지방(近東地方)에서 기원전(紀元前) 7000년경(年頃)부터 인류(人類)에 의(依)하여서 사용(使用)되어왔는데 탄소(炭素)를 거의 함유(含有)하고 있지 못하다. 그래서 30년전(年前)부터 열형광분석법(熱螢光分析法, TL)이 그 태토중(胎土中)에 함유(含有)되고 있는 방사능(放射能)을 계획(計劃)하는 방식(方式)에 의(依)하여서 도자기(陶瓷器) 연대측정법(年代測定法)으로서 개발(開發) 실용화(實用化)되어 왔다. 모든 종류(種類)의 점토(粘土)는 자연(自然)에 존재(存在)하는 방사성물질(放射性物質)인 우라늄, 토륨, 포타슘-40을 미량(微量) 함유(含有)하고 있고 이러한 방사성(放射性) 원자(原子)들이 붕괴(崩壞)되어 감에 따라서 방사선(放射線)을 발생(發生)하고 이것에 조사(照射)된 점토(粘土)는 그 원자내(原子內)의 원자(原子)를 준안정준위(準安定準位)까지 여기(勵起)시키며 이 점토(粘土)를 400°C 정도(程度)로 가열(加熱)하면 축적(蓄積)되어 있던 에너지가 가시광선(可視光線)-열형광선(熱螢光線)이라고 함-을 방사(放射)하고 여기(勵起)되고 있었던 전자(電子)들은 안정(安定)된 원상태(原狀態)로 되돌아 간다. 이 형광광선(螢光光線)의 강도(強度)를 측정(測定)할 수 있고 이 강도(強度)는 이 점토(粘土)가 소성(燒成)된 이후(以後)의 연대(年代)와 방사선(放射線)을 조사(照射)받은 선량률(線量率)에 비례(比例)하게 된다.

도자기(陶瓷器)의 파편(破片)이 가열(加熱)되면 그 태토(胎土)의 천연열형광(天然熱螢光)은 전부(全部) 소멸(消滅)되어 버림으로 이때를 열형광연대(熱螢光年代) 영년(迎年)으로 기산(起算)한다. 보존기간(保存其間)이 경과(經過)됨에 따라서 방사선(放射線)에 조사(照射)되어 가고 태토(胎土) 원자내(原子內) 전자(電子)의 흠함(欠陷, 여기상태(勵起狀態))이 발생(發生)되어 가고 이에 따라서 이 도자기(陶土器)가 가열(加熱)되면 열형광선(熱螢光線)이 또다시 발생(發生)하게 된다. 이때 그 광선(光線)의 강도(強度)를 측정(測定)하면 최초(最初) 소성(燒成)된 때부터의 연대(年代)(즉(卽), 보존연대(保存年代))를 주변(周邊) 및 태토내(胎土內) 방사선(放射線) 선량(線量)을 계산(計算) 산출(算出)하여 비교검토(比較檢討)함으로써 측정(測定)할 수 있다.

고고학자(考古學者)들은 이 방법(方法)으로서 정확(正確)한 연대측정(年代測定)이 가능(可能)한 것으로 기대(期待)하여 왔으나 측정결과(測定結果)의 정밀도(精密度)가 높지 못하여서 현재(現在)에는 연대측정법(年代測定法)이라 하기 보다는 도자기(陶瓷器)들의 모조품(模造品)들을 식별(識別)하는데 주(主)로 사용(使用)하고 있다. 그러나 인류(人類)가 3-4만년전(萬年前)에 불을 사용(使用)하였었느냐 하는 문제(問題)를 연구(研究)하는 데는 이 방법(方法)이 가장 유효(有效)하였던 것이며 호주(戶主)지방에 고대(古代)의 점토요적(粘土窯跡)이 있었는데 이 방법(方法)이 아니었다라면 그 연대(年代)를 측정(測定)할 길이 없었음을 자인(自認)들 하고 있다.

따라서 이 방법(方法)은 정밀(精密)한 연대측정(年代測定)에는 부적합(不適合)하였으나 연대(年代)의 많은 차이(差異)가 있는 고대(古代)의 것과 근세(近世)의 것을 식별(識別)하는 방법(方法)으로서의 유효(有效)하다고 볼 수 있겠다.

다. ESR 연대측정법(年代測定法)(전자(電子)스핀법)

자연방사선(自然放射線)에 의한 물질적(物質的) 원자(原子)의 전자(電子)스핀 손상(損傷)을 이용(利用)하는 방법(方法)으로서 동굴석출물(洞窟析出物)(종유석(鐘乳石)이나 석순(石筍))이나 고인류학(古人類學)의 화석골(化石骨) 등(等)의 연대측정(年代測定)에 응용(應用)되어 왔다. 아울러서 동굴과학(洞窟科學), 지구과학(地球科學), 해양과학(海洋科學)의 패각(貝殼), 찬

호, 유공충화석(有孔蟲化石), 더 나가서 단층활동(斷層活動)이나 지열관련광물(地熱關聯鑛物)에도 그 적용범위(適用範圍)가 넓혀져 가고 있으며 산화(酸化)로 인하여서 발생(發生)하는 라디칼(Radical) 반응(反應)을 이용(利用)하여 지류(紙類), 칠(漆), 피초(皮草) 등(等)의 문화재(文化財), 유체(遺體), 식품(食品)들의 유기체(有機體) 연대측정(年代測定)에도 시도(試圖)되고 있다.

자연계(自然界)에는 소량(少量)의 방사성핵종(放射性核種)이 있고 α -선(線), β -선(線), γ -선(線) 등(等)으로 불리우는 방사선(放射線)을 방출(放出)하고 있다. 이러한 자연방사선(自然放射線)에 조사(調查)되어온 고고유물(考古遺物)이나 지질광물(地質鑛物)은 그 원자내(原子內)에 방사선(放射線) 손상(損傷)을 받아 왔으며 이 방사선(放射線) 손상(損傷)의 양(量)은 방사선(放射線)의 강도(強度)(연간(年間)의 선량률(線量率))과 방사선(放射線)을 조사(調查)받은 기간(期間)(연대(年代))에 비례(比例)하고 있다.

이러한 자연방사선(自然放射線)에 의(依)한 물질원자(物質原子)의 손상(損傷)을 이용(利用)한 연대측정법(年代測定法)에는 Fission Track법(法)(핵분열편비적검출법(核分裂片飛的檢出法))과 열형광법(熱螢光法) 등(等)이 있으나 ESR법(法)에서는 특(特)히 원자(原子) 내(內)의 전자(電子)스핀의 손상(損傷)을 검출(檢出)하여 연대(年代)를 측정(測定)하고 있다. 따라서 이 방법(方法)에서도 열형광(熱螢光) 연대측정(年代測定) 때와 같이 자연방사선(自然放射線)(주변(周邊) 및 그 유물자체내(遺物自體內) 방사선(放射線) 물질(物質)에 의한 방사선(放射線) 선량(線量)을 측정(測定)하고(R) 그 유물(遺物)의 원자내(原子內) 전자(電子)스핀의 손상(損傷) 정도(程度)와 조사(照射)된 방사선(放射線) 선량(線量)과의 상호관계(相互關係)를 측정(測定)하고(E) 실제(實際) 유물(遺物)의 전자(電子)스핀 손상(損傷) 정도(程度)를 ESR분광법(分光法)으로 측정(測定)함으로써 그 유물(遺物)의 연대(年代)를 (R), (E)값을 참고(參考)하여 산출(產出)하는 것이다. 이 방법(方法)은 인류학(人類學) 연구(研究) 즉 동굴유적(洞窟遺跡), 화석골(化石骨)의 연대측정(年代測定)에 응용(應用)되고 있다.

고고학(考古學) 시료(試料)로서는 칠(漆), 지(紙)(Cellulose), 양모(羊毛)(Gelatin), 견(絹) 등(等)의 물질(物質)에서 산화반응(酸化反應)을 조사(調查)하고 있으며 상세(詳細)한 연대측정치(年代測定值)를 산출(產出)하기는 곤란(困難)하지만 개략(概略)의 연대치(年代值)를 구(求)할 수는 있다. 따라서 고고학상(考古學上)의 진위판정(眞僞判定)에는 이용(利用)할 수 있다.

라디칼이라 함은 산화반응(酸化反應)의 중간생성물(中間生成物)이며 그 생성(生成)을 억제(抑制)함으로써 그 재질(材質)의 열화(劣化)를 방지(防止)할 수 있으므로 도서관(圖書館)의 서적(書籍), 고문서류(古文書類)나 고문화재(古文化財)의 보존(保存)에는 불활성(不活性) 개스 중(中)에서 저온(低溫)에 보존(保存)하면 좋을 것으로 사료된다. 유기물(有機物)의 ESR연대측정(年代測定)도 장차(將次)에는 고고학(考古學)이나 인류학(人類學) 연구(研究)에 기여(寄與)할 수 있는 정도(程度)까지 발전(發展)되어 갈 것으로 기대(期待)되고 있다.

라. 아미노산(酸) 연대측정법(年代測定法)

이 방법(方法)은 1950년대(年代)에 종래(從來) 연대측정법(年代測定法)에서의 시료(試料)의 양(量), 연대측정(年代測定) 상한선(上限線) 등(等)의 한계점(限界點)들을 극복(克服)하기 위(爲)하여서 개발(開發)되어 고대사(古代史) 연구(研究)에 활용(活用)되어 왔다.

측정원리(測定原理)는 생물체내(生物體內)의 아미노산(酸)이 광학적(光學的)으로 활성화(活性化)된 상태(狀態)(보통(普通) 좌선성(左旋性))로 있다가 사망(死亡)하게 되면 좌선성(左旋性)이었던 것이 점차(漸次) 그 광학활성도(光學活性度)를 잃어가게 되어서 결과적(結果的)으로 좌선(左旋)과 우선(右旋)이 50%씩 섞여서 생성(生成)되는 Racemic상태(狀態)로 변화(變)

화)하게 됨을 이용(利用)하여 측정대상물(測定對象物)의 아미노산(酸)의 광학적활성도(光學的活性度)를 측정(測定)하여서 그 연대(年代)를 산출(產出)하는 방법(方法)이다.

아미노산(酸)의 종류(種類)에 따라서 이 광학적(光學的) 활성도(活性度)의 변화시간(變化時間)이 일정(一定)하며 실온(室溫) 25°C, pH 중성(中性) 경우(境遇)에서 아스파라긴산(酸)(Aspartic Acid)은 Racemic상태(狀態)로 가는 연대(年代)의 반감기(半減期)가 3,000년(年)이고 Alanine은 1200년(年) 등(等)이므로 이 값들을 연대계산(年代計算)의 표준(標準)으로 삼고 있다.

아미노산(酸)의 시료(試料)로서는 골내(骨內)의 단백질(蛋白質)인 Collagen을 추출(抽出) 사용(使用)하고 있다. 이 방법(方法)은 미국(美國)에서의 인류생존(人類生存) 기원연대(起源年代)를 측정(測定)하는데 주(主)로 응용(應用)되어 왔다. 대부분(大部分)의 고고학자(考古學者)들은 인류(人類)가 아세아 지방(地方)으로부터 베아링해(海)를 거쳐서 약(約) 10,000~20,000년전(年前)에 미국(美國)에 이주(移住)하여 온 것으로 추정(推定)하고 있다. 그러나 일부(一部)에서는 출토(出土)되는 고고유물(考古遺物)이나 주거지(住居址) 등(等)을 살펴볼 때 약(約) 10만년전(萬年前)에 도착(倒着)된 것으로 주창(主唱)들 하고 있다.

California주(州) Laguna에서 출토(出土)된 인골(人骨)의 방사성탄소(放射性炭素) 연대측정(年代測定)한 결과(結果) 17,150년(年)이 나왔으며 비슷한 연대(年代)의 다른 지역(地域)에서 출토(出土)된 인골(人骨)의 Aspartic산(酸)에 의(依)한 연대측정(年代測定) 값은 48,000~70,000년(年)이나 되었다. 따라서 이 연대측정(年代測定) 값이 정확(正確)한 것이라면 북미지방(北美地方)에는 근동(近東) 또는 구주(九州) 지방(地方)보다 근세인류(近世人類, Homo Sapiens Sapiens)가 보다 빠른 시대(時代)에 생존(生存)하였던 것이 되므로 학계(學界)의 많은 논쟁(論爭)을 일으켰고 결과적(結果的)으로 아미노 산(酸) 연대측정법(年代測定法) 자체(自體)에 결함(缺陷)이 있는 것으로 논의(論議)되어 왔다. 즉 아미노 산(酸) 광학활성도(光學活性度)의 변화(變化)는 그 속도(速度)가 주변(周邊) 환경(環境)(온도(溫度), 수분(水分) 등(等))에 의(依)하여서 좌우(左右)될 수 있으므로 시간(時間) 즉(即), 시대(時代)에 반드시 비례(比例)되지 않는 점(點)이 논의점(論議點)이 되고 있다.

그러나 현재(現在)까지 측정(測定)된 것들 중에서는 탄소연대측정(炭素年代測定)이나 다른 방법(方法)에 의한 연대측정(年代測定)값에 비등(比等)한 경우(境遇)도 많아서 이 방법(方法)은 주변환경(周邊環境)에 따라서 그 연대측정치(年代測定值)에 차이(差異)가 있을 수 있다는 결론(結論)도 나오게 되고 있다. 그러나 인골(人骨) 등(等)의 시료(試料)로서 고대연대(古代年代)를 측정(測定)할 수 있는 방법(方法)으로서의 용도(用途)는 귀중(貴重)한 것임으로서(예(例) : 북경원인(北京原人), 구주(歐洲) Tanzania에서의 연구(研究)) 다른 증거(證據) 자료(資料)와 병행(並行)하여 검토(檢討)하여 간다면 고대사연구(古代史研究)에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로서 기대(期待)되고 있다.

마. 흑요석의 가수화층 연대측정법(黑曜石의 加水化層 年代測定法)

흑요석(黑曜石) 연대측정법(年代測定法)은 방사성탄소(放射性炭素) 연대측정법(年代測定法)의 결함(缺陷)을 보완(補完)할 수 있는 방법(方法)의 한가지로서 제시(提示)되어 왔다. 흑요석(黑曜石)은 깨지기 쉬운 화산산(火山産) 유리로서 원시시대(原始時代) 인류(人類)들이 날카로운 칼모양으로 만들거나 또는 절단성형(切斷成型)하여 무기(武器)를 만들어서 널리 사용(使用)하여 온 것이다. 다른 종류(種類)의 유리들과 같이 흑요석(黑曜石)의 표면(表面)이 공기(空氣)에 노출(露出)되면 서서히 수분(水分)을 흡수(吸收)하게 된다.

석내부(石內部)로 수분(水分)이 확산(擴散)되어 감에 따라서 수화층(水化層)이 형성(形成)

되고 시간(時間)에 비례(比例)하여 이 층(層)이 성장(成長)되어 가며 현미경(顯微鏡)으로 관찰(觀察)하면 그 두께를 측정(測定)할 수 있다. 1959년경에 미국(美國)의 지질화학자(地質化學者) Irving Friedman이 제안(提案)하기를 흑요석(黑曜石) 공예품(工藝品)의 수화층(水化層) 두께는 그 물품(物品)이 제조(製造)된 연대(年代)를 나타내줄 수 있다고 하였으나 아미노산(酸) 연대측정법(年代測定法)의 경우(境遇)와 마찬가지로 수화과정(水化過程)이 시간(時間) 이외(以外)의 인자(因子) 즉(卽) 온도(溫度) 및 흑요석(黑曜石) 자체(自體)의 화학(化學) 성분(成分)에 따라서 영향(影響)을 받으나 상대습도(相對濕度)에는 무관(無關)하고 태양광선(太陽光線)은 역시 영향(影響)을 미칠 수 있다고 하였다.

근래(近來)에 들어서서 인류학자(人類學者)인 Jaesph W. Michel 교수(教授)의 연구실(研究室)에서 여러 종류(種類)의 흑요석(黑曜石)을 여러 가지 온도(溫度) 조건(條件) 하(下)에서 수화반응(水化反應)시켜 그 반응속도(反應速度)를 각각(各各) 측정(測定)하였고 흑요석(黑曜石) 유물출토지역(遺物出土地域)의 온도범위(溫度範圍)와 연대평균(年代平均) 온도(溫度)를 참고(參考)하여서 수화최적온도(水化最適溫度)를 그 유물(遺物)의 최적수화온도범위(最適水化溫度範圍)에서 측정(測定)하고 이 Data를 Check하여 가면 그 유물(遺物)의 수화층(水化層) 두께로부터 연대(年代)를 산출(算出)해 낼 수 있다고 주창(主唱)하였다.

Michel 교수(教授)에 의(依)한다면 동(東)아프리카 지방(地方)의 72개의 각각(各各) 다른 흑요석(黑曜石) 시료(試料)를 연대측정(年代測定)하였던 바 각각(各各) 그 방사성탄소(放射性炭素) 연대측정(年代測定) 값이나 지층연대(地層年代)와도 거의 일치(一致)되었다 한다. 동도(東島), Guatemala 및 Sardina 지방(地方) 출토(出土)의 흑요석(黑曜石) 유물(遺物) 연대측정(年代測定)을 진행(進行)시켰던 바 이 지방(地方)으로서 50만년전(萬年前)의 유물(遺物)까지도 그 연대측정(年代測定)이 가능(可能)한 것으로 판명(判明)되고 있다. 에디오피아 출토(出土)의 수분(水分)(손도끼)에 있어서는 최소한(最小限) 12만년(萬年) 이전(以前)의 것까지도 연대측정(年代測定)이 가능(可能)하였다고 한다.

바. Fission Track 연대측정법(年代測定法)

천연(天然) 또는 인공(人工)유리, 광물(鑛物) 등(等)에는 수(數) ppm부터 수백(數百) ppm까지의 우라늄을 함유(含有)하고 있다. 우라늄에는 ^{238}U 와 ^{235}U 의 동위원소(同位元素)가 있고 그 천연(天然)에서의 동위원소(同位元素) 존재비(存在比)는 137.88이다. 이 두 동위원소(同位元素)는 α -선(線), β -선(線)을 방출(放出)하여 괴변(壞變)을 일으킨다. ^{238}U 은 자발(自發) 핵분열(核分裂)을 일으켜서 질량수(質量數) 약(約) 95와 140이 두 개(個)의 원자핵(原子核)으로 분열(分裂)되고 이때 평균(平均) 2.5개(個)의 중성자(中性子)를 방출(放出)한다.

이 두 개(個)의 핵분열편(核分裂片)이 통과(通過)한 주변(周邊)의 원자(原子)는 이온화(化)되어 서로 반발(反撥)하여 손상(損傷, Track)이 형성(形成)된다. 이 Track의 길이는 약(約) 10~20미크론, 폭(幅)은 약(約) 10Å으로서 광학현미경(光學顯微鏡)으로서는 관찰(觀察)할 수 없다. ^{238}U 은 원자(原子)로 내에서 열중성자(熱中性子)에 접경(接境)시키면 유발핵분열(誘發核分裂)을 일으킨다.

이러한 Track들은 그 Track의 생겨난 유리, 광물(鑛物)에 고유(固有)한 온도(溫度) 및 시간(時間)의 가열(加熱)로 손실(損失)된다. 이 연대측정법(年代測定法)은 핵물질(核物質)들의 이러한 반응(反應)을 이용(利用)한다. 연대측정(年代測定)을 하기 위(爲)하여서 자발(自發) track밀도(密度)로부터 ^{238}U 의 괴변량(壞變量), 원자로(原子爐)에서 조사(調査)한 열중성자(熱中性子)의 양(量)과 유발(誘發) Track밀도(密度)로부터 시료중(試料中)의 ^{235}U 의 현재(現在) 함량(含量), 더 나가서 ^{238}U 과 ^{235}U 의 동위원소비(同位元素比)로부터 ^{238}U 의 현재량(現在量)

등(等)을 각각(各各) 알아낼 수 있다.

그 다음에는 ^{238}U 의 자발핵분열괴변정수(自發核分裂壞變定數)를 사용(使用)하면 경과년수(經過年數)를 산출(算出)할 수 있게 된다. 여기서 측정(測定)되는 연대(年代)는 Track이 기록(記錄)되기 시작(始作)한 다음부터의 경과시간(經過時間)이므로 화산활동(火山活動)에 뒤이어서 용암(熔岩)이 굳어진 시기(時期) 또는 결정(結晶)이 냉각(冷却)된 시기(時期)라고 하는 등(等)의 지질학적(地質學的)인 뜻을 지니고 있는 최종가열(最終加熱)된 다음부터의 경과시간(經過時間)이다.

이 방법(方法)이 고고학(考古學) 또는 인류학(人類學)에 이용(利用)되는 대상(對象)은 토기(土器), 요토(窯土), 소토(燒土) 및 우연(偶然)이 가열(加熱)된 석편(石片), 석기(石器) 등(等)의 것과 넓은지역에 분포(分布)되고 있는 화산회층(火山灰層)의 유적(遺蹟)과 관련성(關聯性)이 있는 것들로 구성(構成)되고 있다. 이 방법(方法)에서는 핵물질(核物質)의 괴변량(壞變量)을 측정(測定)하는 것, 그 반감기(半減期)가 매우 큰 것 등(等)으로 인(因)하여서 고대연대(古代年代)일수록 측정(測定)이 용이(容易)하다.

수백만년(數百萬年)으로부터 수천년(數千年)에 이르는 인류(人類)의 기원(起源)과 진화(進化)에 관련(關聯)된 시대(時代)의 측정(測定)을 하는 경우(境遇)에는 시료(試料)로서는 농도(濃度)가 매우 큰 광물(鑛物)이나 계수면적(計數面積)을 확보(確保)하기 용이(容易)한 유리 등(等)에 국한(局限)되고 있다.

이와 같은 조건(條件)을 충족(充足)시켜주는 시료(試料)로서는 지르콘, 스위인 아파다이드, 유리 등(等)이 있고 입수(入手)되기 쉬운 점(點)을 고려(考慮)한다면 질곤과 우리에게 국한(局限)되며 기타(其他) 종류(種類)의 것은 시료(試料)로서의 실용성(實用性)이 없다. 이 방법(方法)의 장점(長點)은 다음과 같다.

(1) 다른 방법(方法)으로서는 연대측정(年代測定)이 불가능(不可能)하거나 곤란(困難)한 십만년(十萬年) 단위(單位)의 연대측정(年代測定)이 용이(容易)하게 성취(成就)될 수 있다.

(2) 화산회(火山灰)는 퇴적과정(堆積過程)에서 이차광물(二次鑛物)을 여러 종류(種類)의 것을 혼입(混入)시키고 있으나 질곤립(粒)을 개별적(個別的)으로 연대측정(年代測定)할 수 있어서 혼입(混入)된 것을 제거(除去)하고 본래(本來)의 연대(年代)를 추출(抽出)할 수 있다.

(3) 이때 얻어지는 Primary/Secondary의 입자비(粒子比)는 화산(火山)의 내부구조(內部構造) 또는 퇴적과정(堆積過程)의 한 가지 지표(指標)로써 이용(利用)될 가능성(可能性)이 있다.

이러한 특징(特徵)과 장점(長點)을 지니고 있으므로 여러 가지 아려져 있는 절대연대측정법(絕對年代測定法)들 중(中)에서 이 방법(方法)은 독자적(獨自的)인 지위(地位)를 확보(確保)할 수 있을 것으로 기대(期待)되고 있다. 실제(實際)로 인류사(人類史)를 해명(解明)하는데 있어서 중요(重要)한 발견(發見)에 관련(關聯)된 연대측정법(年代測定法)이라 한다면 이 방법(方法)에 기대(期待)하는 바 크다고 할 수 있겠다.

4. 고대환경(古代環境)의 조사연구(調查研究)

근대(近代)에 들어서서는 고고학자(考古學) 자체(自體)의 연구조사(研究調查)를 진행(進行)시키는 것 이외(以外)의 고고학자(考古學者)나 역사학자(歷史學者) 및 인류학(人類學) 학자(學者)들과 공동노력(共同努力)하여 고대사회(古代社會) 또는 자연환경(自然環境)을 조사연구(調查研究)하여 보고자 하는 방향(方向)의 것이 보존과학자(保存科學者)들 사이에 논의(論

議)되고 있고 또 실천(實踐)되어 나가서 여러 가지 주목(注目)할 만한 결과(結果)들이 발표(發表)되어 가고 있다.

화분(花粉)의 분석(分析), 동물(動物), 식물(植物)의 분포조사(分布調査) 등(等)으로부터 고대(古代) 자연환경(自然環境)을 연구(研究)하여 그 여건(與件)들을 복원(復元)하여 보고자 하는 노력(努力)이 관계분야(關係分野) 과학자(科學者)들의 협조하(協調下)에 눈부시게 추진(推進)되고 있다. 본고(本稿)에서는 화학분야(化學分野)를 중심(中心)으로 하여서 고대(古代) 사회환경(社會環境)을 추정(推定)하고자 노력(努力)한 연구조사(研究調査) 내용(內容) 몇 가지를 소개(紹介)하여 보고자 한다. 장차(將次) 국내(國內)에서도 이러한 방향(方向)의 연구조사(研究調査)가 관련(關聯) 각(各) 분야(分野) 연구자(研究者)들의 공동협력(共同協力)으로 추진(推進)하여 나가기를 기대(期待)하여 마지 않는다.

가. 식물(植物)과 사회구조(社會構造)

인골(人骨)의 연대측정(年代測定)과 아울러서 골성분(骨成分)을 조사(調査)하고 고대인(古代人)의 식품조성(食品組成)이 육류(肉類)이나 또는 각류(各類)이나, 재배식품(栽培食品)이나 또는 야생식품(野生食品)이나 하는 고대(古代) 식생활(食生活) 환경(環境)을 추정(推定)할 수 있다. 인골중(人骨中) 무기성분(無機成分)은 주(主)로 Hydroxy Apatite($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$)이지만 미량무기성분(微量無機成分)들이 골내(骨內)에 축적(蓄積)되고 있다.

식물(植物)의 Sr함량(含量)은 동물(動物)의 것보다 크고 동물(動物)은 그 체내(體內)의 Ca에 대(對)한 Sr의 치환(置換)을 억제(抑制)하는 경향(傾向)이 있다. 따라서 인골(人骨)의 Sr함유량(含有量)이 크다면 식물(植物)을 주(主)로 취식(取食)하였음이 증명(證明)될 수 있다. 같은 논법(論法)에 의(依)하여서 Va이나 Mg의 함량(含量)이 높으면 야채채식자(野菜菜食者)이고 Zn, Cu의 함량(含量)이 높으면 육류소비(肉類消費)가 큼을 나타내 주고 있다. 인골(人骨)은 보통(普通) 그 출토상태(出土狀態)가 좋지 못하고 부식(腐蝕)되기 쉽고 그 매장(埋葬) 지점(地點) 주변(周邊)의 흙으로 오염(汚染)이 심(甚)하게 되어 있기 쉽다. 그 무기성분(無機成分) 분석(分析)은 표준방식(標準方式)을 써서(예(例) : 원자흡광분석(原子吸光分析)) 쉽게 진행(進行)시킬 수 있으나 분석결과(分析結果)의 해독에서는 주의(注意)가 필요(必要)하며 어느 성분(成分)이 조사(調査) 평가(評價)할 가치(價值)가 있는 것인지 결정(決定)하는 것이 가장 중요(重要)하다.

골(骨)의 성분(性分), 주변토양(周邊土壤)의 성분(成分) 등(等)을 함께 분석(分析)하여 보고 (1) 골(骨)로부터 추출된 성분(成分) (2) 골내(骨內)에 침식(浸蝕)된 것 (3) 희귀(稀貴)한 미량성분(微量成分) 등(等)을 가려내야 한다. 무기성분(無機成分) 중(中)에서 Sr, Zn, Mg, Ca, Na, Cu 등(等)은 토양(土壤)으로부터의 오염(汚染)과는 관계(關係)가 없고 그 시대(時代)의 식성구명(食性究明)에 참고(參考)가 될 수 있다.

근래(近來) 연구자(研究者)들은 전자현미경(電子顯微鏡)으로 골구조(骨構造)를 조사(調査)하여서 원소(元素)들의 골횡단면내(骨橫斷面內) 분포상태(分布狀態)를 조사(調査)한 바 Sr와 같이 안정(安定)한 원소(元素)는 골(骨) 전면(全面)에 균일(均一)하게 분포(分布)되고 있음을 확인(確認)하였고 철분(鐵分)과 같이 주변(周邊) 흙으로부터 골내(骨內)에 침입하기 쉬운 원소(元素)는 표면(表面)에 농축(濃縮)되고 있음을 관찰(觀察)되었다. 북미지방(北美地方)에서 AD 2세기경(世紀頃)의 유적(遺蹟)에서 남녀해골(男女骸骨)이 출토(出土)되어 그 골성분(骨成分)을 조사(調査)한 바 남녀(男女)의 것의 원소함유량(元素含有量)이 비슷하였으므로 그들이 비슷한 식품(食品)을 섭취(攝取)하였던 것으로 추정(推定)될 수 있었다.

그 지역(地域)에는 동물(動物) 및 식물(植物)의 유적(遺蹟)이 널리 분포(分布)되고 있었으며

로 이 사람들은 수렵(狩獵), 채취(採取), 식생활(食生活)한 것으로 추정(推定)될 수 있었다. 이보다 800년(年) 이후(以後)의 주거유적(住居遺蹟)을 조사(調查)하여 본 바 옥수수 재배흔적(栽培痕迹)이 있었다.

출토(出土)된 남녀인골(男女人骨)의 미량성분(微量成分) 함량(含量)에 뚜렷한 차이(差異)가 있었다. 즉 남녀골내(男女骨內) Sr함량(含量)이 낮은 값을 모여 주었는데 이것은 남자(男子)가 육류(肉類)를 많이 섭취(攝取)한 것으로 고찰(考察)되었다. 이러한 차이(差異)는 수렵(狩獵)↔채식생활(菜食生活)로부터 농업생활(農業生活)로 생활양식(生活樣式)이 변화(變化)됨에 따르는 남녀성간(男女性間)의 생활환경(生活環境)의 차이(差異)가 나타난 것으로 보여지고 있다.

인골내(人骨內) Collagen에 함유(含有)되어 있는 탄소동위원소(炭素同位元素, ^{13}C)의 량(量)은 식이(食餌)에 관(關)한 중요(重要)한 정보(情報)를 제공(提供)하여 주고 있다. 즉(卽) 식용식물(食用植物)의 종류(種類)에 따라서 골(骨) 유기성분내(有機成分內) $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 비(比)가 달라지는 것이다. 식물(植物)의 동화작용(同化作用)으로 대기중(大氣中)의 $\text{CO}_2(^{13}\text{C}+^{12}\text{C})$ 가 흡수(吸收)되어 복잡(複雜)한 화합물(化合物)을 만들게 되는데 이 화합물(化合物)의 종류(種類) 및 함량(含量)에 따라서 식물내(植物內) $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 비(比)가 달라지게 된다. C-4식물(植物)인 옥수수는 C-3식물(植物)인 밀보다 ^{13}C 을 더 많이 함유(含有)하고 있으므로 옥수수를 식용(食用)한 인골중(人骨中) 탄소함유량비(炭素含有量比)인 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 의 비(比)가 밀의 것보다 큰 값을 보여주게 된다.

대기중(大氣中)의 질소(窒素)와 해양수(海洋水)의 질소(窒素)의 ^{14}N , ^{15}N 동위원소비(同位元素比)에는 차이(差異)가 있다. 따라서 프랑크톤을 먹는 어류(魚類)를 먹는 사람과 프랑크톤을 먹는 생선(生鮮)을 취식(取食)한 사람 사이에는 질소(窒素) 15의 흡수(吸收)가 틀리게 되므로 이 점(點)을 조사(調查)하면 그 사람의 취식상황(取食狀況)을 가려낼 수 있는 가능성(可能性)이 있다.

인골중(人骨中)의 단백질(蛋白質)은 체내(體內)에서 합성(合成)된 아미노산(酸)과 직접(直接) 외부(外部)로부터 들어온 아미노산(酸)으로 구성(構成)되어 있으니 탄소(炭素) 동위원소비(同位元素比), 질소(窒素) 동위원소비(同位元素比)를 조사(調查)할 때는 이러한 점(點)도 고려(考慮)에 넣어서 분석(分析) data 해석(解析)에 참고(參考)하여야 한다는 문제점(問題點)이 있기는 하지만 고대식생활환경(古代食生活環境) 조사연구(調查研究)에 다각도(多角度)로 활용(活用)되어가고 있다.

나. 수온추정(水溫推定)(산소(酸素) 동위원소비(同位元素比) 측정법(測定法))

산소(酸素)의 안정동위원소(安定同位元素)(^{16}O , ^{17}O , ^{18}O)은 자연계(自然界)에서 거의 일정(一定)한 비율(比率)로 존재(存在)하고 있다($^{16}\text{O}:^{17}\text{O}:^{18}\text{O} = 99,958:0.0373:0.2039$)

그러나 이러한 비율(比率)은 모든 물질(物質)에서 일정(一定)하게 되어 있는 것이 아니고 물질(物質)의 종류(種類)나 상태(狀態)에 따라서 고우식(苦于式) 차이(差異)가 있다. 예를 들면 탄산(炭酸)칼슘(CaCO_3)가 침전(沈澱)할 때 물 내부에서는 탄산(炭酸)이온과 물분자(分子) 사이에 항상(恒常) 다음과 같은 산소(酸素) 동위원소(同位元素)의 교환반응(交換反應)이 일어나고 있다.



이때 ^{18}O 이 탄산(炭酸)이온과 물에 들어가는 비율(比率)을 나타내는 평형정수(平衡定數)(K)

는 그때의 온도(溫度)에 따라서 다르다.

$$K = \frac{(C^{18}O^{16}O^{16}O^{--}/C^{16}O^{16}O^{--})^{\frac{1}{3}}}{H_2^{18}O/H_2^{16}O}$$

이 원리(原理)를 이용(利用)하여서 탄산(炭酸)칼슘 중에 농축(濃縮)하는 산소(酸素) 동위원소비(同位元素比)와 수온(水溫)과의 관계(關係)(온도(溫度) Scale)을 실험적(實驗的)으로 구(求)하여 두고 이 온도(溫度) Scale에 따라서 과거(過去)의 수온(水溫)을 산출(算出)하는 방법(方法)이 택(擇)하여지고 있다.

이 방법(方法)에서 시료(試料)는 다음의 두가지 조건(條件)을 충족(充足)시켜 주는 것이어야 한다.

(1) 탄산(炭酸)칼슘은 주위(周圍)의 물과 동위원소(同位元素) 평형과정(平衡過程)을 거쳐서 형성(形成)된 것이어야 한다. 대부분(大部分)의 이매패(二枚貝), 권패(卷貝), 유공충(有孔蟲), 두족류(頭足類)들은 이 조건(條件)을 만족(滿足)시키고 있다고 생각되고 있다.

(2) 퇴적후(堆積後)의 산소(酸素) 동위원소비(同位元素比)에 변화(變化)가 아니 일어난 것, 탄소(炭素)칼슘이 퇴적후(堆積後) 재결정(再結晶)하면 주위(周圍) 물과 새로운 동위원소(同位元素) 평형(平衡)에 도달(到達)되어 원래(原來)의 동위원소비(同位元素比)를 아니 나타내 주는 경우(境遇)가 있다. 그래서 재결정(再結晶)이나 변질(變質)을 일으키지 않은 것을 선택(選擇)하여야 한다.

이러한 두가지 조건(條件)을 만족(滿足)시키고 있는 탄산(炭酸)칼슘의 화석(化石)으로부터 산소(酸素) 동위원소비(同位元素比) 측정용(測定用) 시료(試料)(보통(普通) 수(數)mg)을 채취(採取)하게 되는데 화석(化石)이 패(貝)와 같이 비교적(比較的) 큰 경우(境遇)에는 그 각(殼)의 내부구조(內部構造)를 관찰(觀察)하여 성장선(成長線)이나 그 방향(方向)에 주의(注意)하여 성장방향(成長方向)으로 되도록 세밀(細密)하게 Sampling 한다.

유공충(有孔蟲)과 같이 작은 것의 경우(境遇) 품종(品種)이나 성장단계(成長段階)에 따라서 생육심도(生育深度)가 다른 경우(境遇)가 있으니까 단일종(單一種)으로서 또 일정(一定)한 크기의 개체(個體)만을 모집(募集)한다. 최근(最近)에는 유공충(有孔蟲) 일개체(一個體)만으로써도 충분히(充分)히 측정(測定)할 수 있는 정도(程度)의 초미량용(超微量用)으로 개량(改良)된 분석계(分析計)가 있어서 활용(活用)되고 있다. 시료(試料)는 대부분(大部分)이 유기물(有機物)을 함유(含有)하고 있고 이것으로 인(因)하여서 측정치(測定值)의 오차(誤差)가 생기게 됨으로 유기물(有機物) 제거(除去) 조작(操作)이 있어야 한다.

시료(試料)는 진공(眞空)으로 유지(維持)된 반응용기(反應容器) 내(內)에서 무수인산(無水磷酸)과 25.0°C에서 반응(反應)시켜 CO₂형식(型式)으로 산소(酸素)를 취출(取出)한다. 보통 반응용기(反應容器)를 일야(一夜) 25.0°C 항온(恒溫) 조(槽)에 담아두고 발생(發生)된 CO₂가스를 진공증류(眞空蒸溜)에 의하여서 정제(精製)하고 동위원소비(同位元素比) 질량분석계(質量分析計)에 도입(導入)하여 CO₂중(中)의 산소(酸素)의 동위원소비(同位元素比)를 측정(測定)한다.

¹⁸O/¹⁶O비(比) 측정법(測定法)으로 산출(算出)된 수온(受蘊)이 실제수온(實際水溫)과 일치(一致)하는가 하는 것을 검토(檢討)하기 위(爲)하여서 현상태(現狀態)를 시료(試料)로 사용(使用)하여 보았다. 그 결과(結果) 산출(算出)된 수온(水溫)이 실제(實際) 수온(水溫)과 잘 일치(一致)됨을 확인(確認)할 수 있었다. 이 방법(方法)을 패층(貝塚)에서 출토(出土)하는 패류(貝類)에 응용(應用)하여 일본(日本)의 승문(繩文), 미생시대(彌生時代)의 해수수온(海水水溫)을 추정(推定)하는 연구(研究)가 진행(進行)되었던 바 시대별(時代別)로 해수수온(海水水溫)의 변화경향(變化傾向)을 확인(確認)할 수 있었다.

이러한 산소(酸素) 동위원소비(同位元素比)의 시대적(時代的) 변화(變化)가 모두 해수온도(海水水溫)의 변화(變化)로서 고찰(考察)될 수 있겠으나 하는 문제(問題)들이 검토(檢討)되어 가서 해저퇴적물(海底堆積物)의 분석(分析), 자연패층(自然貝層)의 패류군집(貝類群集)의 변화(變化) 등(等)의 분석결과(分析結果)와 관련(關聯)시켜 검토(檢討)할 필요(必要)가 있었다.

이 시대(時代) 이전(以前)의 고대(古代)의 기후변동(氣候變動)은 어떻게 되었을 것일까? 이것은 극지(極地)에 남겨져 있는 빙상(氷床)을 발굴(發掘)하여 얻어지는 빙(氷)의 Core시료(試料)나 심해저퇴적물(深海底堆積物)의 Core시료(試料)의 산소(酸素) 동위원소비(同位元素比)로부터 산출(算出)될 수 있다. 담수(淡水)의 영향(影響)이 작은 해역(海域)에 생식하였다고 고찰(考察)되는 패(貝) 등(等)의 화석(化石)을 선택(選擇)하고 시료(試料)의 변질(變質)이 없는 것을 취(取)하여 간다면 수백년전(數百年前)이나 수천년전(數千年前)의 해수온도(海水水溫)까지도 추정산출(推定算出)될 수 있을 것으로서 기대(期待)되고 있다.

다. 회적(灰跡) 조사분석(調查分析)

식물(植物)의 회(灰)에서 현미경(顯微鏡)으로 관찰(觀察)할 수 있는 조직상(組織像)에 관(關)하여서 오스트리아의 식물학자(植物學者) 한스 모릿슈(Hans Molish)는 회랍어의 회(灰) 「스포도스」를 취(取)하여 「스포도그램」이라 명명(命名)하였다. 독어(獨語)로는 「앗시엔 빌드」, 일어(日語)로는 「회상(灰像)」이라고 한다.

모릿슈는 여러 종류(種類)의 식물(植物)의 화학성분(化學成分)을 분석(分析)하여 식물분류상(植物分類上)의 과(科)나 속(屬) 등(等)에 의(依)하여 화학성분(化學成分)이 공통(共通)되거나 또는 특징적(特徵的)임을 명백(明白)히 하였다. 즉(卽) 화학성분(化學成分)으로 살펴서 식물(植物)의 계통(系統)이나 유연관계(類緣關係)를 탐구(探究)하는 길을 열은 것이었다.

세포내(細胞內)에 용해(溶解)되어 있는 화학성분(化學成分)을 검출(檢出)하는데 그는 식물(植物)을 회(灰)로 하여 조사(調查)하는 방법(方法)에 착안(着眼)하게 되었다. 대개의 식물(植物)은 연소(燃燒)시키면 허물어지기 쉬운 회(灰)가 되어버려 현미경(顯微鏡)으로 관찰(觀察)하여도 특별(特別)한 상(像)이 보이지 않는다. 그러나 어느 종류(種類)의 것은 회(灰)로 만들면 생생(生生)하던 때의 조직(組織)과 똑같은 형식(形式)의 것이 관찰(觀察)되거나 생생(生生)하였을 때에는 볼 수 없었던 결정(結晶)이 나타나기도 한다. 이것은 식물(植物)의 조직(組織)을 만들고 있는 세포(細胞)가 무기질(無機質)을 다량(多量) 함유(含有)하고 있는 경우(境遇)에는 생생(生生)하였을 때의 조직(組織)과 같은 형(形)을 한 그 무기질(無機質)의 형태(形態)가 회(灰)로 남기 때문이다.

한편 결정(結晶)은 세포내(細胞內)에 용해(溶解)되고 있었던 화학성분(化學成分)이 수분(水分)을 잃고 생성(生成)된 것으로서 결정(結晶)의 형(形)으로부터 용해(溶解)되고 있었던 화학성분(化學成分)을 알 수 있게 된다. 회상(灰像)에서는 일(一) 식물체(植物體)의 조직상(組織像)을 선명(鮮明)하게 나타내주는 호예(好例)는 도과식물(稻科植物)에 관한 것이다. 도과(稻科)에는 도(稻)를 위시(爲始)하여 여러 가지 곡물(穀物)이 속(屬)하게 되는데 그 특징(特徵)은 표피세포(表皮細胞)의 세포막(細胞膜)이나 세포내(細胞內)에 다량(多量)의 규산(硅酸)을 함유(含有)하고 있는 점(點)에 있다. 도과식물(稻科植物)의 잎과 경(莖)이 튼튼한 것이나 이 과(科)의 식물(植物)의 잎으로 손을 배우는 예(例)도 우리의 것과 같은 성분(成分)의 규산(硅酸)이 잎이나 경(莖)에 다량(多量) 함유(含有)되어 있는 것으로 설명(說明)될 수 있다. 따라서 도과식물(稻科植物)을 태우면 반드시 회상(灰像)을 관찰(觀察)할 수 있다. 그 조직상(組織像)은 도과(稻科)의 종류(種類)에 따라서 서로 다르게 되므로 그 식별(識別)에 도움을 줄 수 있다.

도과(稻科)가 인간(人間)의 식품(食品)으로써 가장 중요(重要)한 각류(穀類)들을 모두 포함

(包舍)시키고 있으니 회상(灰像)을 사용하여 고대(古代) 인류식품(人類食品)의 각각(各各)의 것을 감정(鑑定)하는데 매우 편리(便利)하다 하겠다. 이 방법(方法)으로 중국(中國)에서는 일편(一片)의 조잡(粗雜)한 토기(土器)의 태토(胎土)에 혼합(混合)되어 있었던 회(灰)로부터 약(約) 5,000년전(年前)의 도(稻)를 검출(檢出)한 예(例)가 있으며 일본(日本)에서는 이 방향(方向)의 연구(研究)가 1930년(年) 경(頃)부터 성행(盛行)되어 와서 식물학(植物學)의 입장(立場)에서 대나무, 세(笹), 쟈기풀, 소맥(小麥) 등(等)의 회상(灰像)이 연구(研究)되어 왔고 응용면(應用面)에 있어서는 약용식물(藥用植物), 일본지(日本紙)의 섬유질원료(纖維質原料), 공업용(工業用) 목재(木材) 등(等)의 감별(鑑別)에 회상(灰像)이 사용(使用)되었다. 미생시대(彌生時代) 유적(遺蹟)으로부터 탄화(炭火)된 쌀 또는 분흔(粉痕)이 있는 토기(土器)가 출토(出土)된 것이 복도현(福島縣) 이북(以北)에서만 22소(所)나 되어 주목(注目)을 끌었으며 기타(其他) 각(各) 지방(地方)에서 회상(灰像)에 의한 고대(古代) 도과식물(稻科植物)의 확인(確認)이 성행(盛行)되어 왔다. 도(稻)가 그 장소(場所)에서 재배(栽培)되었다는 확실(確實)한 증거(證據)로서 도(稻)의 화분(花粉)을 확인(確認)하여야만 한다. 그러기 위(爲)해서는 유적(遺蹟) 부근(附近)에 니탄(泥炭)이 있어야 하며 이것이 있으면 수목(樹木)들의 화분(花粉)도 감별(鑑別)할 수 있으므로 당시(當時)의 그 지역(地域)의 기후(氣候)도 추정(推定)할 수 있다. 현재(現在)의 기후(氣候)가 도작(稻作)에 적합(適合)하지 않는 것이라도 고대(古代)에는 적합(適合)한 조건(條件)이었을지 모르는 일이므로 매우 중요(重要)한 지견(知見)을 얻을 수 있게 된다.

근래(近來)에는 화분(花粉)의 검출기술(檢出技術)이 진보(進歩)되어 니탄(泥炭)이 없는 곳에서도 화분(花粉)이 검출(檢出)될 수 있게 되었다 어떤 이유(理由)에 의(依)해서 그러한 것이지는 모르지만 재배(栽培)된 각물(穀物)의 화분(花粉)은 그 입자(粒子)가 크다. 주사형(走査型) 전자현미경(電子顯微鏡)으로 화분(花粉)의 표면(表面)의 미세구조(微細構造)를 관찰(觀察)하여 식별(識別)하는 방법(方法)도 발달(發達)되고 있으므로 유적(遺蹟)에서 출토(出土)되는 회(灰)의 회상(灰像)과 아울러서 화분(花粉)구조까지도 종합검토(綜合檢討)하여 본다면 그 지역(地域)에서의 도작여부(稻作與否)가 뚜렷하게 구명(究明)될 수 있을 것으로서 기대(期待)되는 바 있다.

5. 결론(結 言)

현재(現在)까지 보존과학관계(保存科學關係) 문헌(文獻)에 발표(發表)된 것들을 종합정리(綜合整理)하여 보았다. 본고(本稿)에서 소개(紹介)하지 못한 분야(分野)에서도 많은 연구(研究)가 진행(進行)되고 있을 것이며 최신(最新) 국내외(國內外) 문헌(文獻)을 모두 입수(入手)하지는 못하여서 새로운 연구결과(研究結果)들을 모두 취재(取材)할 수는 없었음을 유감(遺憾)으로 생각하고 있다.

장차(將次) 여기에서 소개(紹介)된 내용(內容)의 것들이 국내(國內) 보존과학자(保存科學者)들에 의하여서 보다 심도(深度)있게 다루어져서 이 분야(分野)의 연구범위(研究範圍)가 확대(擴大)되어 가고 그 수준(水準)이 향상(向上)되어 가기를 기대(期待)하여 마지 않는다.

參考文獻

1. 文化財研究所: 「文化財保存科學文獻目錄」 韓·日 保存科學 共同研究發表 要旨, p.195(1994. 3)
2. 文化財研究所: 「保存科學研究」 第5-14輯(1984-93)
3. Am, Chem, Soc.: 「Archeological Chemistry」 C& E New, Feb. 21. 1983

4. J. B. Lambet et al. J. Adv. Chem, Ser, 220 381(1989)
5. 島津製作所: 島津 Application News N. A233(1991)
6. 赤沼, 正木: 「EPMA에 의한 蕨手刀의 分析」科計 Journal Vol.1, No.2(1989)
7. 島津製作所: 島津科學計測 Journal 3 No. 3 p.375(1991)
8. 韓國文化財保存科學會: 「保存科學消息」Vol.4, No.1(1994)
9. 馬淵, 富永: 「考古學을 爲한 化學 十章」東京大學出版會(1981. 8)
10. 同 上: 「續考古學을 爲한 十章」東京大學出版會(1986. 4)
11. B. Kei sk : 「Analysis of Works of Art」Applications of Massbauer Spectroscopy, Vol.1, R. L. Cohen ed. : Academic Press(1976)
12. 馬淵, 富永: 「考古學의 應用, 核現象과 分析化學」化學總說, No.19, Chapt 13(日本化學會, 1980)
13. 馬淵, 川上: 「스트론튬 同位體比의 土器, 瓦의 產地 推定에 應用」古文化財의 科學, 29, 94(1984)
14. 田口: 「X-線 컴퓨터 斷層撮影裝置를 使用한 木造彫刻의 構造 및 造像技法의 調査」古文化財의 科學 29, p.43(1984)