

台湾地区湖泊甲烷释放量^{*}

王树伦 陈镇东 张哲明[†]

(中山大学海洋地质及化学研究所 高雄 80424)

[†](中央大学环境研究中心 中坜 32054)

提要 本研究首次对台湾湖泊的甲烷释放量作量化评估,以期了解湖泊在台湾地区甲烷总释出量。研究主要利用两种方式进行:一是收集箱实测法,大多运用在交通便利地区,使用甲烷收集箱,定时收集甲烷气,进行浓度分析后,进而估算释放量;另一是利用水汽浓度差估算法,大多运用在交通不便地区,以水体及接近水体的空气甲烷浓度差,考虑风速及利用理论方程式估算甲烷释放通量。两方法所得到的甲烷释放通量误差在一次方左右。

关键词 台湾 湖泊 甲烷 释放通量

学科分类号 X142

甲烷是大气中重要的微量成分之一,而且与二氧化碳一样,是一种长寿命的温室效应气体,其经由辐射能的吸收可产生温室效应(Wang *et al.*, 1976; 1990; Khalil *et al.*, 1990)。大气中甲烷增加经由辐射过程直接引起气候之变化,但是与二氧化碳不同的是,大气中甲烷是一种活性物质,其增加将会引起许多大气化学反应的变化,以至影响大气中其它化学成分,间接引起气候变化(Meszaros, 1981; Street-Perrott, 1992)。

从过去几十年间各地的大气甲烷观测,及冰岩心气泡的分析研究证实,在过去100—150年间,大气中甲烷浓度约以每年1%的平均速率增加。工业化前,全球大气甲烷平均浓度只有 $0.6-0.8 \times 10^{-6}$ V,到1990年已经到达 1.72×10^{-6} V,增加近1.5倍。近40多年里增加更快,但自1986年以后,大气中甲烷的增加速率有下降的趋势,目前全球平均年增长率0.9%(Houghton *et al.*, 1990)。

目前对大气甲烷增加的原因尚未完全清楚,一般认为是人为活动造成甲烷排放源增加,但也可能是其它大气污染间接引起甲烷浓度增加。为了更进一步了解大气甲烷增加的原因,及预测其未来变化趋势,需要定期大量地研究大气甲烷各种排放源的释放量,及其动态变化。据估计全球释放到大气中的甲烷,有一半以上来自水体环境(Khalil *et al.*, 1983)。然而大部分研究水体甲烷释放,都将重心放在稻田、淡水湿地及沼泽上¹⁾(Cicerone *et al.*, 1981; Harriss *et al.*, 1981, 1982; Sebacher *et al.*, 1982; Delaune *et al.*,

^{*} 国科会资助项目, NSC85-2621-P-008-005及86-2611-P-008-012。王树伦,男,出生于1963年8月11日,博士, E-mail: ctchen@mail.nsysu.edu.tw

1) 吕世宗, 1993. 国科会专题计划成果报告: 台湾地区微量气体含量及通量之研究(第一年)5—7

收稿日期: 1996-08-08日, 收修改稿日期: 1997-10-15

1983; Bartlett *et al*, 1985) 对于湖泊水体则少有研究¹⁾(de Angelis *et al*, 1987; Khalil *et al*, 1990; Chen *et al*, 1994), 台湾地区则更少有相关的研究。因此本文针对台湾湖泊的甲烷释出量作初步研究, 以期了解湖泊在台湾地区总甲烷释出量中的作用。

1 材料与方法

本研究采样地点如图 1 所示。台湾本岛采集了 35 个湖泊, 其中包含了 10 个高山湖泊(海拔超过 1 500m), 以及离岛兰屿的天池。

甲烷采样方法, 主要分为甲烷采集箱、水体样本及大气样本三个部分。甲烷采集箱的技术, 主要来自印度新德里的国家物理实验室。对于甲烷采集箱内空气样本, 是用 200ml 的玻璃气瓶以排水集气法收集。首先利用漂浮装置, 将甲烷采集箱置于欲采样的水体上, 然后从箱顶的抽气阀, 抽取第一个空气样本, 此即为采样点的起始值。往后每 1—2h 采一次样本, 根据时间间隔及气体浓度变化, 换算成甲烷释放通量。

水体样本的采集方式, 主要依照 Johnson 等 (1990)。使用附有橡皮塞(septa)的 20ml 采样瓶, 采样时先将试水充满采样瓶, 然后以塑胶滴管压入瓶内, 排出定量水样后, 添加氯化汞溶液以抑制生物作用, 然后瓶口塞上橡皮塞并加上铝封。送回实验室后, 依照 headspace method, 由水汽平衡后的气体的甲烷浓度, 回推水体样本的甲烷浓度。

大气样本采样, 是使用附有橡皮塞(septa)的 10ml 采样瓶。至采样地点后, 先将采样瓶开口处迎风, 同

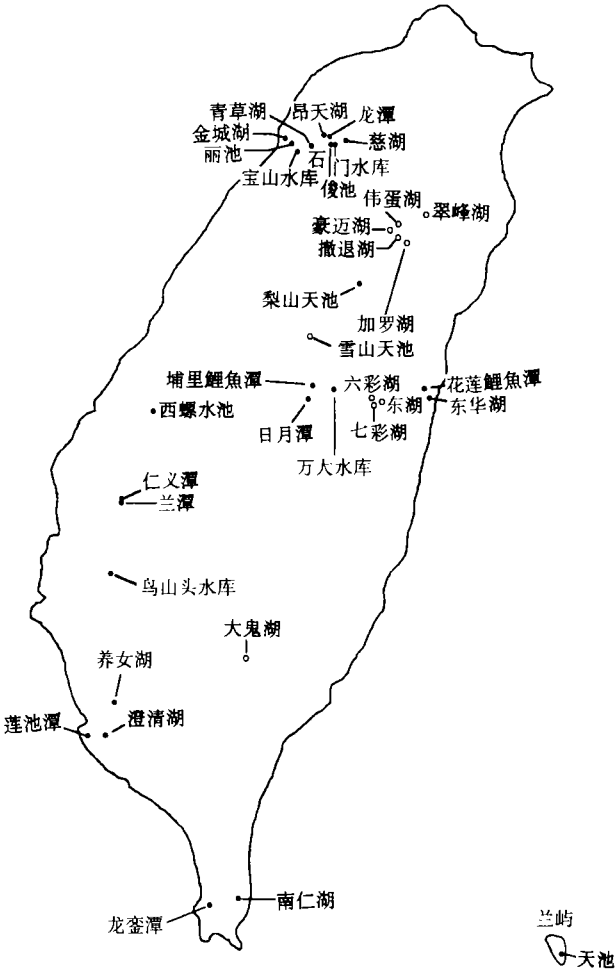


图1 湖泊甲烷采样站

Fig.1 Methane sampling station in lakes
○高山湖泊; ●平地湖库

时以塑胶滴管来回压入瓶内, 以增加瓶内外空气流通, 然后瓶口塞上橡皮塞, 并加上铝封。甲烷样品携回实验室后, 使用 HP GC 5890 SERIES II 气体层析仪进行分析, 并以印度国家物理实验室提供的 2.04×10^{-6} V 及美国 NIST1.19 $\times 10^{-6}$ V 的甲烷标准气体予以校

1) 王树伦 陈镇东等, 1995. 南台湾河、湖、浅海及湿地之甲烷释出量研究. 国家科学委员会专题研究报告, 19

正。水体样本中甲烷浓度的计算如下。

首先算出甲烷的 Bunsen 溶解度常数 β 值,公式参照 Wiesenburg 等(1979)。算出 β 值后,则代入下列公式,以求出水体中所含的甲烷浓度。

$$\text{水中浓度} (\times 10^{-6} V) = C_g \times [(\beta / 22.356) \times R \times K + V_w / V_l] - C_{g0} \times V_w / V_l$$

C_g 为气液相平衡时,气体内的甲烷浓度($\times 10^{-6} V$); C_{g0} 为采集现场,当时大气的甲烷浓度($\times 10^{-6}$); V_w 为水体采样瓶上方空气柱的体积(mL); V_l 为水体样瓶内水体的体积(ml); R 为气体常数。

甲烷释放通量的估计,主要利用两种方式进行:一是收集箱实测法,大多运用在交通便利地区,使用甲烷收集箱,定时收集甲烷气,回到实验室后,利用气相析仪进行甲烷浓度分析;进而根据浓度变化,估算释放通量。其计算式如下:

$$\text{甲烷释放通量} [\text{mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})] = (C_n - C_{n-1}) \times V \times [273.15 / (22.4 \times T)] \times [16 / (A_b \times \Delta t)]$$

C_n 为利用甲烷收集箱所得之第 n 个气体样本浓度; C_{n-1} 为利用甲烷收集箱所得之第 $n-1$ 个气体样本浓度; V 为收集箱有效体积(m^3); A_b 为收集箱的底面积(m^2); T 为采样当时气温($^{\circ}\text{K}$); Δt 为 n 次样本与 $n-1$ 样本收集时间之时间差(h)。

另一种甲烷释放通量的估算,则是利用水气浓度差估算法,主要依照 Lammers 等(1994)提出的方式进行,大多运用在交通不便地区。假定水体与大气间的气体交换主要是利用扩散方式进行,如果知道水体及水体表面气体的甲烷浓度差,再乘上气体交换系数就可求出甲烷通量。其中气体交换系数的获取主要根据 Wanninkhof(1992)所提的理论方程式进行,由湖泊当地的气象资料,包括风速、水温及盐度,估算出气体交换系数,据此就可求出甲烷释放通量。实际对比的结果,两方法所得到的甲烷释放通量误差在一次方左右。

2 结果与讨论

台湾地区湖泊,依其坐落位置高低,分为高山湖泊及平地湖泊两类。高山湖泊坐落位置海拔高于1500m,多属于自然水体,人迹罕至,湖水面积总计约 $3 \times 10^5 \text{m}^2$ 左右。目前作者测定了10个高山湖泊(表1a),其中仅在东北部的翠峰湖进行甲烷收集箱实测及水气浓度差的估算。其余高山湖泊限于实验器材搬运不易,仅利用水气浓度差法估算甲烷释放通量。在所测定的高山湖泊中,甲烷含量相对于大气都是过饱和(表1a)。国内外不少文献报道,在溶氧充足、没有污染的湖泊表水中,甲烷含量仍是过饱和(Swinnerton *et al*, 1969; Lamontagne *et al*, 1973; Wilkniss *et al*, 1978; de Angelis *et al*, 1987; Chen *et al*, 1994)。在所测定的高山湖泊中,甲烷含量大都相当接近。只有北部的一个小湖——撤退湖,所测得甲烷浓度高达 $177 \times 10^{-6} V$ 。如此高的甲烷含量对贫营养的高山湖泊而言,除了湖底沉积物在厌氧环境产生甲烷,扩散至水体之外,湖畔森林区的土壤也可能是甲烷重要产生源,借由土表径流进入湖泊中(Harris *et al*, 1982; Chen *et al*, 1994),不过目前没有足够的地球化学资料去证实。

计算出的甲烷释放量变异颇大,分布在 $0.002-1.2 \text{mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 之间(表1a),且无特定地域的区别。整体来看,高山湖泊仍属低甲烷释放的自然水体。其中几个湖域面积较大的高山湖泊,如经测定,大鬼湖及翠峰湖甲烷释放通量平均约为 $0.07 \text{mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$,据此概

表 1 台湾地区高山湖泊(a)和平地湖泊(b)的甲烷浓度($\times 10^{-6}$ V)和释放通量[$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]
Tab.1 Concentration (1×10^{-6} V) and emission flux [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] of methane in the alpine lakes (a) and the lakes (b) in Taiwan

	位置	浓度(空气)	浓度(表水)	释放通量(实测值)	释放通量(计算值)
a	翠峰湖	1.89	$0.39 \pm 0.25(n=6)$	$0.074 \pm 0.061(n=10)$	0.012 ± 0.008
	伟蛋湖	1.94	22.3	—	0.15
	豪迈湖	2.16	5.32	—	0.034
	撤退湖	1.97	177	—	1.2
	加罗湖	$1.85 \pm 0.04(n=2)$	$1.96 \pm 0.55(n=2)$	—	0.012 ± 0.004
	雪山天池	$2.08 \pm 0.05(n=3)$	$0.19 \pm 0.05(n=4)$	—	0.003 ± 0.0007
	六彩湖	1.66	10.10	—	0.45
	东湖	1.80	0.19	—	0.007
	七彩湖	$2.02 \pm 0.45(n=3)$	$0.51 \pm 0.21(n=17)$	—	0.008 ± 0.003
	大鬼湖	$1.95 \pm 0.15(n=2)$	$5.44 \pm 2.16(n=14)$	—	0.09 ± 0.04
	平均	$1.96 \pm 0.22(n=16)$	$6.38 \pm 25.41(n=48)$		
b	昂天湖	1.56	4.13	—	0.20
	龙潭	1.83	3.03	—	0.38
	金城湖	1.62	0.24	—	0.033
	慈湖	$1.74 \pm 0.04(n=2)$	$3.49 \pm 1.00(n=2)$	—	0.026
	丽池	1.85	2.75	—	0.085
	大汉溪上游	1.54	0.09	—	0.004
	石门水库	$1.74 \pm 0.11(n=8)$	$1.54 \pm 1.68(n=12)$	$0.52 \pm 0.65(n=9)$	0.15 ± 0.16
	后池	1.83	0.27	—	0.021
	青草湖	1.69	11.92	—	0.23
	宝山水库	1.64	25.12	—	1.31
	梨山天池	1.92	12.30	—	0.081
	埔里鲤鱼潭	1.91	9.11	—	0.083
	万大水库	2.03	0.31	—	0.002
	日月潭	$2.85 \pm 0.49(n=8)$	$2.51 \pm 0.44(n=8)$	—	0.006 ± 0.002
	西螺水池	1.79	30.66	—	1.07
	仁义潭	1.81	0.58	—	0.018
	兰潭	2.11	11.57	—	0.39
	乌山头水库	2.19	1.65	—	0.053
	养女湖	93.70	5815	—	68
	澄清湖	$1.86 \pm 0.09(n=13)$	$9.64 \pm 3.89(n=36)$	$0.11 \pm 0.19(n=32)$	0.21 ± 0.09
	连池潭	$1.82 \pm 0.18(n=2)$	$10.81 \pm 4.90(n=2)$	—	0.34 ± 0.16
	南仁湖	$1.69 \pm 0.10(n=6)$	$3.75 \pm 5.08(n=2)$	$1.42 \pm 1.48(n=6)$	0.36 ± 0.52
	龙銮潭	$1.96 \pm 0.39(n=9)$	$6.01 \pm 7.62(n=4)$	$-0.05 \pm 0.1(n=6)$	0.13 ± 0.15
	花莲鲤鱼潭	1.81	0.06	—	0.002
	东华湖	1.96	1.43	—	0.06
	兰屿天池	1.80	87.52	—	8.85
	平均(养女湖除外)	$1.95 \pm 0.45(n=66)$	$7.72 \pm 10.65(n=84)$	—	

估出高山湖泊的甲烷总释放量每年约 200kg。当然计算中,并没有考虑湖泊的季节性变异,不过由湖泊面积及预估的总释放量来看,台湾高山湖泊甲烷的释放量相当有限。

高山湖泊的甲烷释出,主要是受水体氧化还原条件影响。以南部大鬼湖为例(图 2),水体中甲烷浓度的垂直分布与溶氧垂直分布情形恰好相反,尤其水体底部在缺氧的环境下,会产生大量甲烷。在高山地区利用水气浓度差法估算甲烷释放通量时,需考虑气压因素。目前尚无文献可推求甲烷在不同海拔空气中的浓度。不过如依水中溶氧为例,海拔 1 500m 水体内的溶氧饱和度约为海平面的 84%;3 000m 约为 70%¹⁾。本研究假定空气中甲烷随高度的变化与氧气相同。

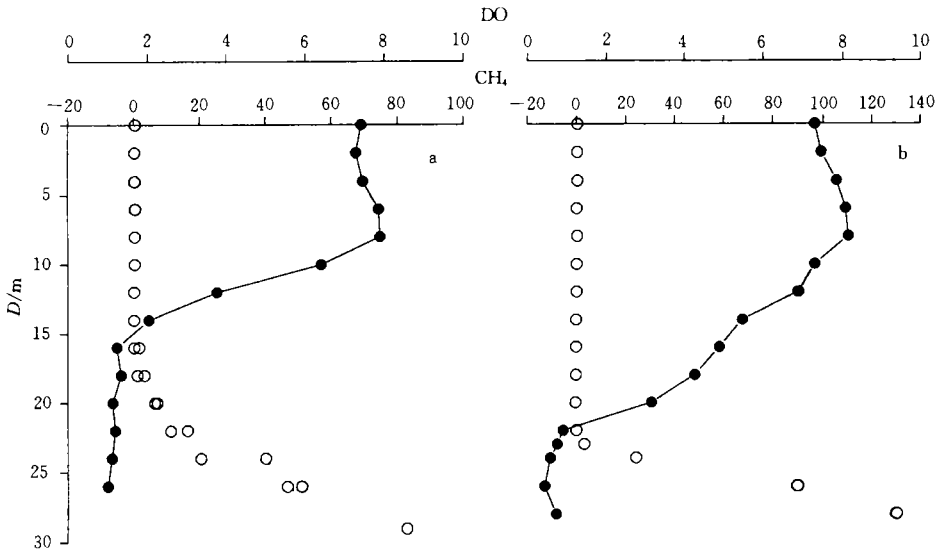


图2 大鬼湖溶解氧及甲烷垂直分布图(引自Wann *et al.* 1997)*

Fig.2 Vertical distributions of dissolved oxygen and methane in Great Ghost Lake
a.1993年5月; b.1994年4月; ○CH₄(μmol/L); ●DO (mg/L); D为深度

平地湖泊由于近聚落,常常设定有观光、休憩及给水等多重目标,因此自然湖泊和人造水库很难区分。据估计台湾地区平地湖库所占面积约 10⁸m²,由于人为污染,平地湖库的甲烷释放量变异程度高于高山湖泊。以目前收集了 26 个湖库资料来看(表 1b),湖泊上方空气中甲烷浓度平均为 $1.95 \pm 0.46 \times 10^{-6} V(n = 64)$,与大气甲烷平均值 1.7—1.8 × 10⁻⁶ V 相当接近。而水体中甲烷的平均浓度为 $7.70 \pm 10.70 \times 10^{-6} V(n = 82)$,比水体甲烷的理论饱和浓度 $0.05 \times 10^{-6} V$ 高出许多,呈过饱和现象。

这 26 个湖库除了养女湖由于位于泥火山区,受大量甲烷气体排放影响,造成水体甲烷浓度及释放量偏高之外,以南仁湖平均释放量最大,达 1.42mg / (m² · h)(表 1b),其随时间的变异幅度也相当大。龙銮潭及万大水库的释放量非常低,甚至出现负值,这些都需要更多不同季节的资料,才可进一步作精确分析。

1) 美国YSI公司溶氧计操作手册
* Wann J K *et al.*, 1977. Aquitic Geochem. in press

目前收集的资料,尚无法完整代表所有的平地湖库,本文试探以澄清湖所得的释放量资料来作评估。澄清湖的甲烷释放通量,以收集箱法实测的结果,平均约为 $0.11\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 左右,利用水汽浓度差估算的结果,约为 $0.21\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,两者相当近似。而所有测定的平地湖泊,表水甲烷的平均浓度约在 $7.70 \times 10^{-6} V(n=82)$,与澄清湖表水甲烷的平均浓度 $9.64 \times 10^{-6} V(n=36)$ 相当近似。若以澄清湖实测平均值乘以全省平地湖库约 10^8m^2 的面积,大致粗略估计一年有 $1.1 \times 10^5 \text{kg}$ 的甲烷的释放量。

根据杨盛行¹⁾报告中指出,台湾地区 1990 年非能源部门(指湿地、浅海、河川、湖泊、农地、动物废弃物及垃圾掩埋场)的甲烷释放量约为 $9 \times 10^8 \text{kg}$ 。以目前所得的数据来看,台湾地区湖泊水库释放出的甲烷量并不十分高,尚不及总量的千分之一。显然湖泊水库在台湾地区甲烷释放源中占相当次要的地位。

3 结语

3.1 海拔 1 500m 以上高山湖泊的甲烷释放量,主要受水体水质条件影响。

3.2 10 个高山湖泊的甲烷释放通量变异颇大,分布在 $0.002\text{—}1.2\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 之间。但整体来看,仍属低甲烷释放的自然水体,平均释放通量约 $0.07\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。高山、湖泊水域面积约 $3 \times 10^5 \text{m}^2$,概估出的甲烷总释放量每年约 200kg。

3.3 26 个平地湖泊水库的甲烷释放通量变异程度高于高山湖泊,以目前收集的资料来看,甲烷释放通量平均约 $0.11\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,全省海拔 1 500m 以下湖库约 10^8m^2 的面积,大致一年有 $1.1 \times 10^5 \text{kg}$ 的甲烷释放量,误差在一次方左右。

3.4 综合来说,台湾甲烷释放通量由湖库而来的约 $0.51\text{—}0.95\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,总量约为每年 $1.1 \times 10^5 \text{kg}$ 左右。与其他甲烷释放源比较,湖库的甲烷释放通量甚低,再加上面积有限,因而台湾地区水域环境中,由湖泊水库所提供的甲烷释放量非常有限。

致谢 Prof. A. P. Mitra, 吕世宗、王冰洁、黄修仪、李福祥、罗建育、万政康、林志明、陈英士对本实验给予协助,谨志谢忱。

参 考 文 献

- Bartlett K B, Harriss R C, Sebacher D I, 1985. Methane flux from coastal salt marshes. *J Geophys Res*, 90: 5 710—5 720
- Chen C T A, Chen Y S, Wang S L, 1994. Methane emissions from natural waters in Taiwan. *Proceedings of the 7th IUAPPA Regional Conference on Air Pollution and Waste Issues*, Nov. 2—4, Taipei. Vol I, 51—61
- Cicerone R J, Shetter J D, 1981. Sources of atmospheric methane: Measurements in rice paddies and a discussion, *J Geophys Res*, 86: 7 203—7 209
- de Angelis M A, Lilley M D, 1987. methane in surface waters of Oregon estuaries and rivers. *Limnol Oceanogr*, 32:716—722
- Delaune R D, Smith C J, Patrick W H Jr, 1983. Methane release from gulf coast wetlands. *Tellus*, 35B: 8—15

1) 杨盛行, 1996. 温室效应机制及预测—因应“气候变化纲要公约”之整合计划; (2) 我国森林吸收二氧化碳之涵容估算和我国温室气体甲烷与氧化亚氮排放与 IPCC 估算之差距。环保署研究计划, EPA85-1003-09-13

- Harriss R C, Sebacher D I, 1981. Methane flux in forested freshwater swamps of the south-eastern United States. *Geophys Res Lett*, 8:1 002—1 004
- Harriss R C, Sebacher K I, Day F P, 1982. Methane flux in the great Dismal Swamp. *Nature*, 297:673—674
- Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J, 1990. *Climatic Change. The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge Univ Press. 23—52
- Johnson K M, Hughes J E, Donaghay P L *et al*, 1990. Bottle-calibration static head space method for the determination of methane dissolved in seawater. *Anal Chem*, 62:2 408—2 412
- Khalil M A K, Rasmussen R A, 1983. Sources, sinks, and seasonal cycles of atmospheric methane. *J Geophys Res*, 88:5 131—5 144
- Khalil M A K, Rasmussen R A, 1990. Constraints on the global sources of methane and an analysis of recent budgets. *Tellus*, 42 B:229—236
- Lamontagne R A, Swinnerton J W, Linnenbom V J, 1973. Methane concentrations in various marine environments. *J Geophys Res*, 78:5317—5324
- Lammers S, Suess E, 1994. An improved head-space analysis method for methane in seawater. *Mar Chem*, 47:115—125
- Meszáros E, 1981. *Atmospheric Chemistry*. Elsevier Scientific Publishing Company. 3.3.1:35—38
- Sebacher D I, Harriss R C, 1982. A system for measuring methane fluxes from inland and coastal wetland environments. *J Environ Qual*, 11:34—37
- Street-Perrott, F A, 1992. Atmospheric methane-tropical wetland sources. *Nature*, 355:23—24
- Swinnerton J W, Linnenbom V J, Cheek C H, 1969. Distribution of methane and carbon monoxide between the atmosphere and natural waters. *Environ Sci Technol*, 3:836—838
- Wang W C, Yung Y L, Lacis A A *et al*, 1976. Greenhouse effects due to atmospheric perturbations. *Science*, 194:685—690
- Wang W C, Molnar G, Ko M K W *et al*, 1990. Atmospheric trace gases and global climate: a seasonal model study. *Tellus*, 42B:149—161
- Wanninkhof R, 1992. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean. *J Geophys Res*, 97: 7 373—7 382
- Wiesenburg D A, Guinasso N L Jr, 1979. Equilibrium solubilities of methane, carbon monoxide, and hydrogen in water and seawater. *J Chem Eng Data*, 24:356—360
- Wilkness P E, Lamontagne, R A, Larson R E *et al*, 1978. Atmospheric trace gases and land and sea breezes at the Sepik River coast of Papua New Guinea. *J Geophys Res*, 83:3 672—3 674

METHANE EMISSIONS FROM LAKES IN TAIWAN

Shu-Lun WANG, Chen-Tung Arthur CHEN, Che-Ming CHANG[†]

(*Institute of Marine Geology and Chemistry, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung 80424*)

[†](*Center for Environmental Studies, National Central University, Chung-Li, 32054*)

Abstract Aquatic environments have been postulated to contribute over half of the total global methane flux to the atmosphere. Most investigations of methane emissions from aquatic ecosystems concentrated on rice paddies, salt marshes and freshwater swamps, little attention is focused on the lake, so data on methane flux from (especially Taiwan) lakes are scarce. We do not know of any methane measurements, either on concentration or on flux, for lakes in Taiwan. So this study focuses on evaluating the methane emissions from lakes in Taiwan.

Data were collected by two methods. One was the collection chamber technique. In an area with easy access, we used a plastic chamber to collect methane. From the change of the methane concentration with time, the methane emission rate was calculated. The other method was to calculate the methane emission rate from the methane concentration gradient between the air and water. The results from these two methods differ by one order of magnitude.

The methane emission from the alpine lakes was controlled by the water property; emission rates were generally low, from $0.002\text{--}1.2\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (averaging about $0.07\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$). The alpine lakes roughly emit 200kg of methane to the atmosphere every year. The methane emission from the lakes and reservoirs located below 1500m showed larger variations than the alpine lakes. The average methane emission rate was about $0.11\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Multiplying by 10 000 hectares, the surface area of all lakes / reservoirs located below 1500m, $1.1 \times 10^5\text{kg}$ of methane is emitted per year from the lakes and reservoirs in Taiwan.

In conclusion, the methane emissions from Taiwan lakes are $0.51\text{--}0.95\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, totally the lakes emit $1.1 \times 10^5\text{kg}$ of methane to the atmosphere every year. Compared with other emission sources the lakes have fairly low methane emissions. It is evident that the lakes are one of the minor sources of methane emission in Taiwan.

Key words Taiwan Lake Methane Emission flux

Subject classification number X142