

国家重点基础研究发展计划项目  
中国近海碳循环、调控机理及生态效应研究

项目编号：2009CB42120 0

# 研究简报

2012 年第 1 期 总第 19 期

项目办公室主编

2012 年 3 月 15 日

## 提 要

- 1、主要研究进展
- 2、后续主要工作概览

主题词：研究进展 后续工作

呈送：科技部基础司、科技部基础司管理中心、教育部科学技术司、国家海洋局科技司、科技部 973 计划咨询专家、依托单位科技处、承担单位科技处

抄送：项目专家组、首席科学家、各课题负责人及主要科研骨干

## 项目办公室

地址：厦门市大学路 182 号

近海海洋环境科学国家重点实验室（厦门大学）

电话：0592-2182833

项目网站：<http://973oceancarbon.xmu.edu.cn/>

邮编：361005

传真：0592-2184101

Email：cyli@xmu.edu.cn

## 1、主要研究进展

### 1.1 初步得出东海碳通量时空变化格局

将东海分成4个区域，分别为长江口、东海北部、东海南部和浙闽沿岸（经纬度划分见图6）。集成多年历史数据（2003-2009年），东海常年是大气CO<sub>2</sub>的汇，分别为长江口63±74万吨/年、东海北部150±170万吨/年、东海南部390±190万吨/年、浙闽沿岸-37±32万吨/年（“-”代表吸收）。东海全年平均吸收大气的量为640±460万吨。

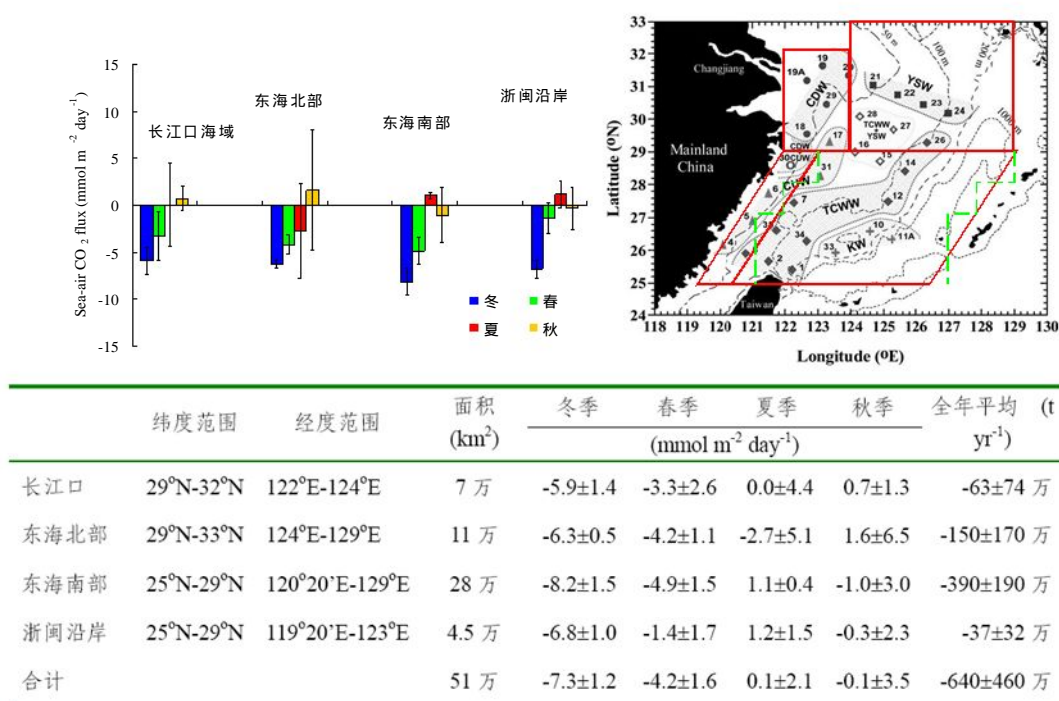


图 1.东海碳通量时空变化格局

根据 CHOICE-C 六个综合性大航次（2008-2012年）数据集成分析，发现东海常年表现为大气 CO<sub>2</sub>的汇，量级略有差异，分别为长江口-112±106万吨/年、东海北部-245±221万吨/年、东海南部-163±317万吨/年、浙闽沿岸-65±137。全年平均东海吸收大气 CO<sub>2</sub>的量为 567±1310万吨/年。

表 1. 2008 -2012 年东海 CO<sub>2</sub> 通量

	纬度	经度	面积 (10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )	春季	夏季	秋季	冬季	全年 平均 (10 <sup>4</sup> t yr <sup>-1</sup> )
	范围 (°N)	范围 (°E)		mmol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>				
长江口	29-32	122-124	7	-2.7±1.2	-4.2±2.2	0.7±1.8	-3.5±2.0	-112±106
东海北部	29-33	124-129	11	-1.2±0.6	-2.2±1.5	-0.6±1.6	-3.3±1.3	-245±221
东海南部	25-29	120.3-129	28	-0.9±0.6	-0.1±2.6	-3.8±0.7	-3.5±1.1	-163±317
浙闽沿岸	25-29	119.3-123	4.5	-0.9±1.1	-0.7±2.2	-1.2±1.7	-3.2±1.1	-65±137
合计或平均	-	-	51	-1.2±1.5	-1.4±3.0	-1.7±2.1	-3.4±2.2	-567±1310

## 1.2 海-气界面 CO<sub>2</sub> 通量估算方法研究进展

目前研究发现,用涡动相关法观测到的海-气界面 CO<sub>2</sub> 通量较 CO<sub>2</sub> 分压差法的结果大 1~2 个量级。通过南海海上平台 (111.4°E, 21.44°N) 的观测资料发现,其差异的来源主要是水汽-CO<sub>2</sub> 之间的交叉感应。为了消除该因素的误差影响,对 CO<sub>2</sub> 能谱做了分析,发现在水汽-CO<sub>2</sub> 之间的交叉感应影响下,其能谱满足-2.5 指数率,而非各向同性湍流特征下的-5/3 指数率特征。基于此种特征结构,提出了一种通过惯性耗散法给定海-气界面 CO<sub>2</sub> 通量的方法,经检验,该方法可以较好的消除水汽-CO<sub>2</sub> 交叉感应带来的误差,给出更准确的观测结果。

通过连续通量观测数据分析了南海海洋观测平台海域的源汇分布,未加修正的结果与三种修正后的结果大体相当,没有量级的差异,研究海域总体上是大气 CO<sub>2</sub> 的汇;从季节分布来看,未加修正的结果似乎更为合理。

## 1.3 大气及海水 pCO<sub>2</sub> 遥感反演的精度评价

为全面验证海-气 CO<sub>2</sub> 通量遥感产品的可靠性,我们用近几年中国近海现场走航 pCO<sub>2</sub> 数据对遥感 pCO<sub>2</sub> 数据进行了验证。走航观测的具体时间及测量航线如图 2 所示。

图 3 所示为对大气 CO<sub>2</sub> 的验证结果。可以看出,模式大气 CO<sub>2</sub> 分压与走航观测值相比,其绝对平均误差一般小于 10 atm。图 4 所示为对海水 pCO<sub>2</sub> 的验证结果。可以看出,遥感海水 CO<sub>2</sub> 分压与走航海水 CO<sub>2</sub> 分压在空间变化上具有较好的一致性。但由于系统制作的海水 CO<sub>2</sub> 分压为月平均产品,而走航海水 CO<sub>2</sub> 分压为某一时刻的数据,两者在时间尺度上存在差异,导致在数值上存在偏差,需要进一步进行更短时间尺度遥感产品(如天产品)的比对检验。

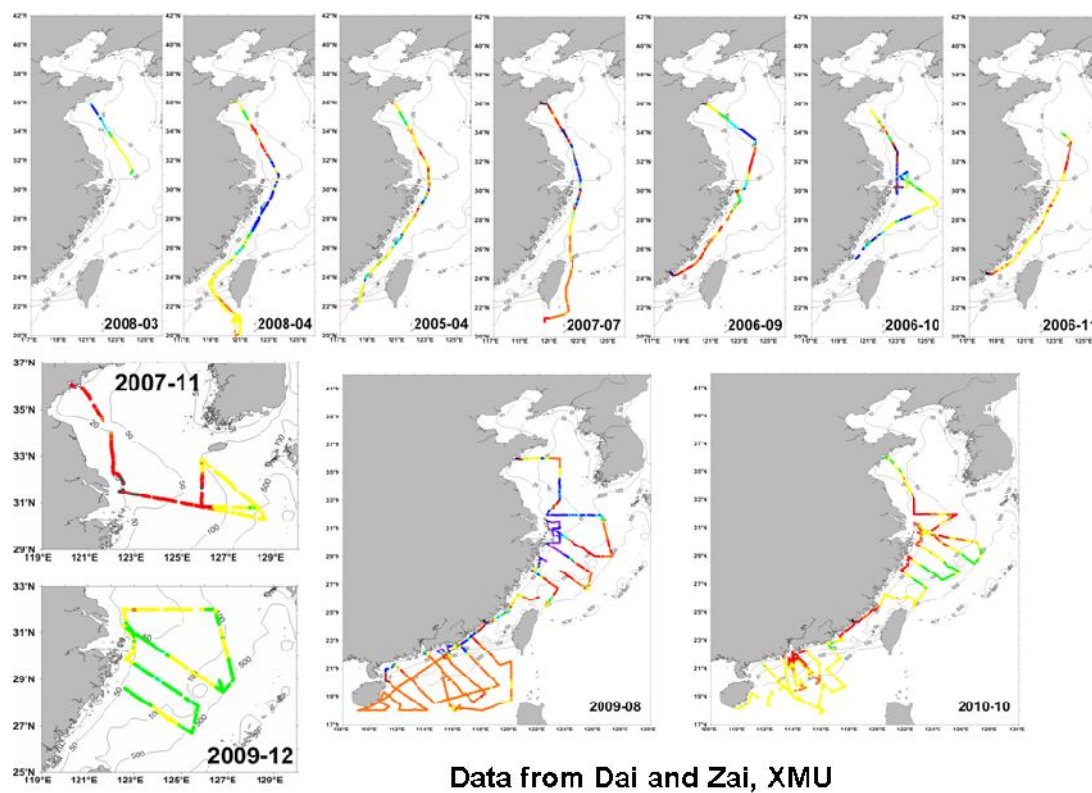


图 2. 中国近海表层海水现场走航  $p\text{CO}_2$  数据

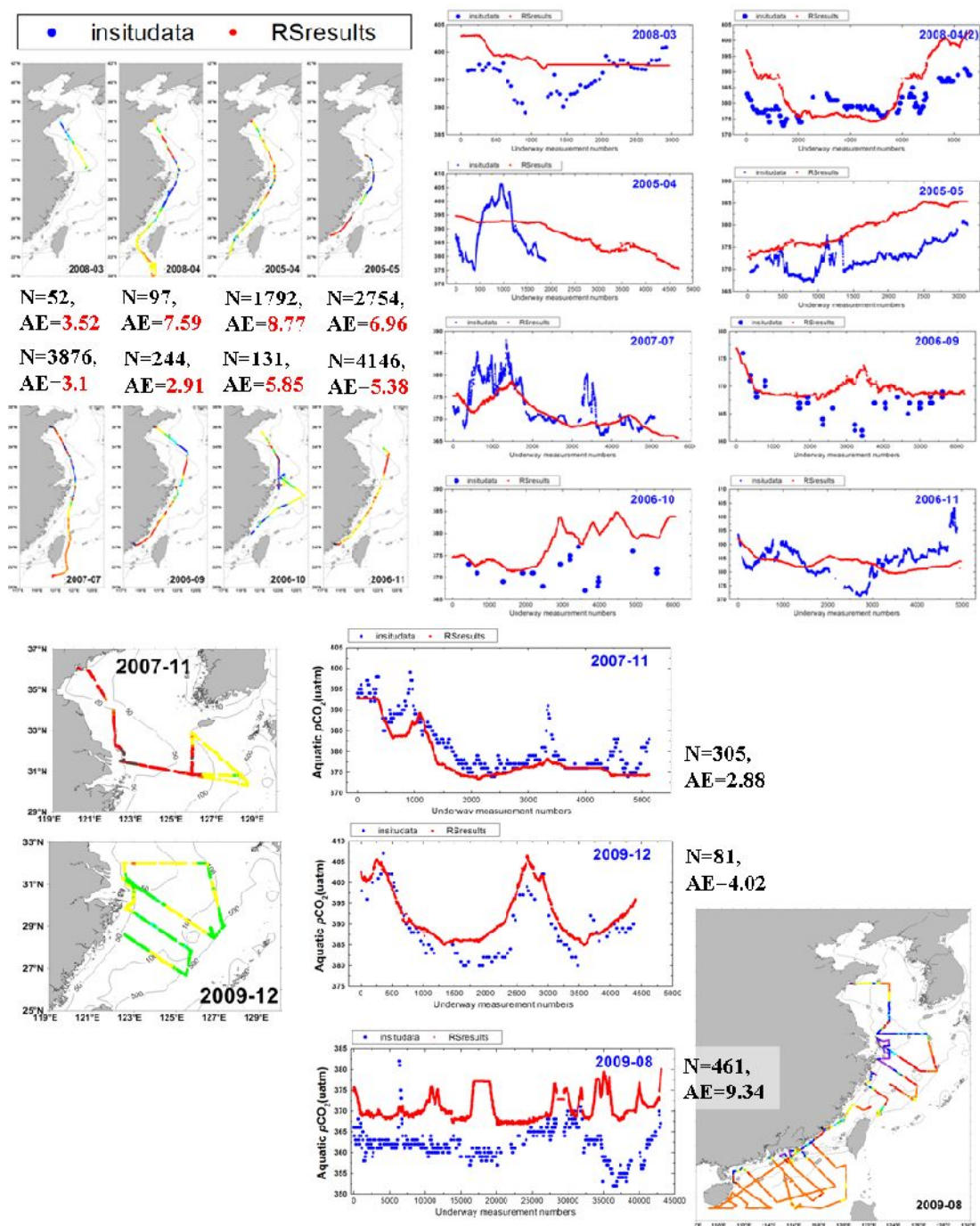


图 3. 模式月平均大气 CO<sub>2</sub> 分压与现场走航大气 CO<sub>2</sub> 分压的比较

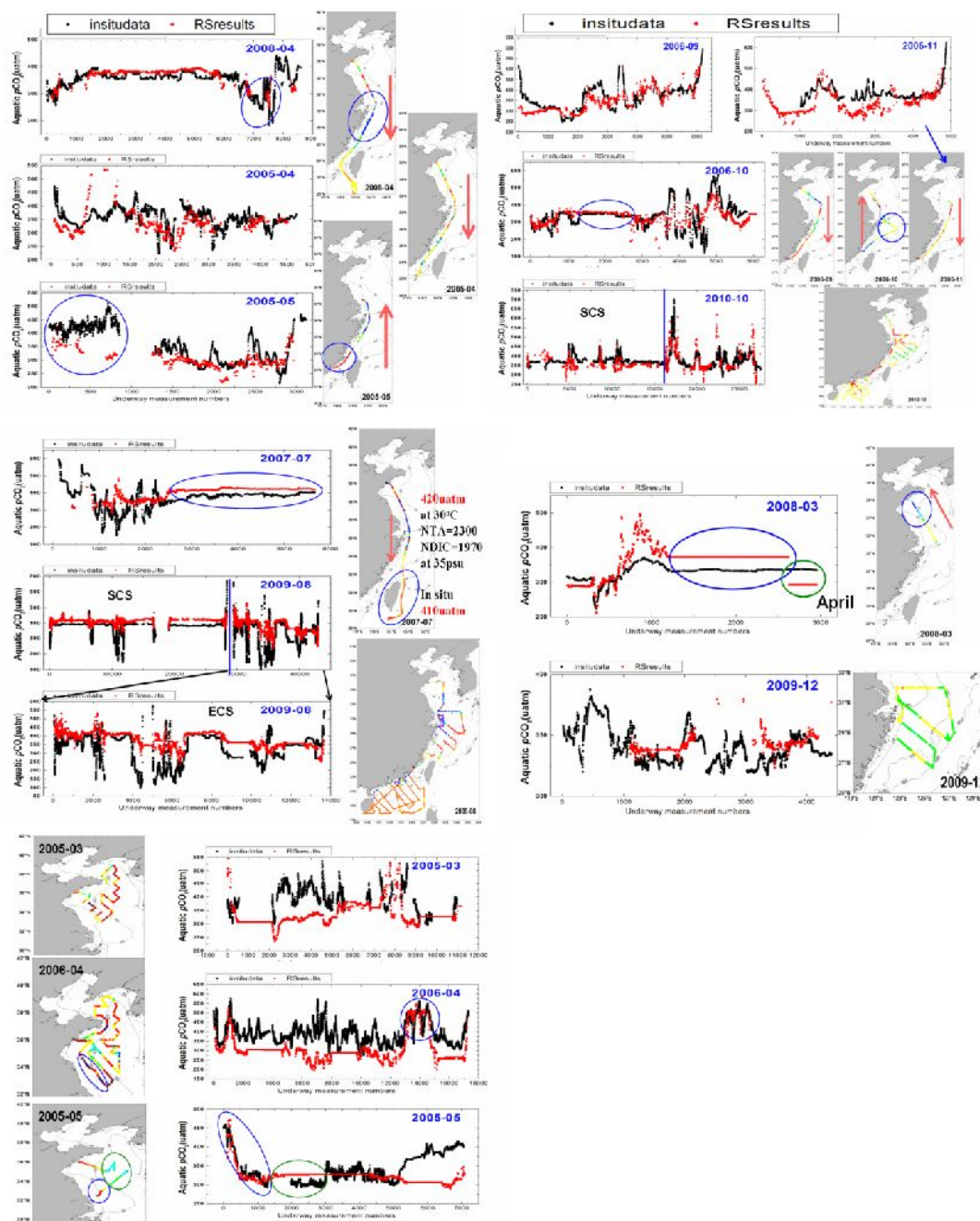


图 4. 遥感月平均海水 CO<sub>2</sub> 分压与现场走航海水 CO<sub>2</sub> 分压的比较

### 1.4 遥感反演的中国近海海-气 CO<sub>2</sub> 通量的季节及年际变化分析

基于  $pCO_{2sw}$  半分析遥感模型对中国近海海气 CO<sub>2</sub> 通量进行了反演，研究范围为 100-130°E，0-41°N，空间分辨率为 1 分(约 1.8km)，时间分辨率为月平均尺度。初步结果简述如下。

#### (1) 中国邻近海域大气 CO<sub>2</sub> 分压气候态季节分布

图 5 所示为 2003-2009 年气候态中国邻近海域大气 CO<sub>2</sub> 分压分布图。在空间

上，渤、黄海的大气  $\text{CO}_2$  分压最高，东海次之，而南海最低。总体呈现近岸高，远海低的趋势，随着离岸距离增加，大气  $\text{CO}_2$  分压逐渐减低。在季节上，冬半年明显高于夏半年，2月份为全年最高值，而8月份为全年最低值。

## (2) 中国邻近海域海水 $\text{CO}_2$ 分压气候态季节分布

图 6 为 2003-2009 年气候态中国邻近海域海水  $\text{CO}_2$  分压分布图，主要反映了在海陆水平混合作用（包含热力学影响）及生物作用影响下海水  $\text{CO}_2$  分压的分布状况。近岸区域由于陆源作用的影响， $p\text{CO}_2$  较高，基本沿着岸线分布，渤海海域及秋冬季苏北浅滩水舌也呈现较高的  $p\text{CO}_2$ 。东海陆架和南海海区受温度的控制作用较大，冬季水温较低时  $p\text{CO}_2$  较低，随着温度的升高， $p\text{CO}_2$  逐渐升高；夏季陆架和海盆区域  $p\text{CO}_2$  达到最高值。生物作用主要体现在长江冲淡水区域、黄海中部地区、南海北部陆架以及台湾海峡部分区域，因此，春季和夏季这些区域生物活动较强，光合作用显著降低了海水的  $p\text{CO}_2$ 。

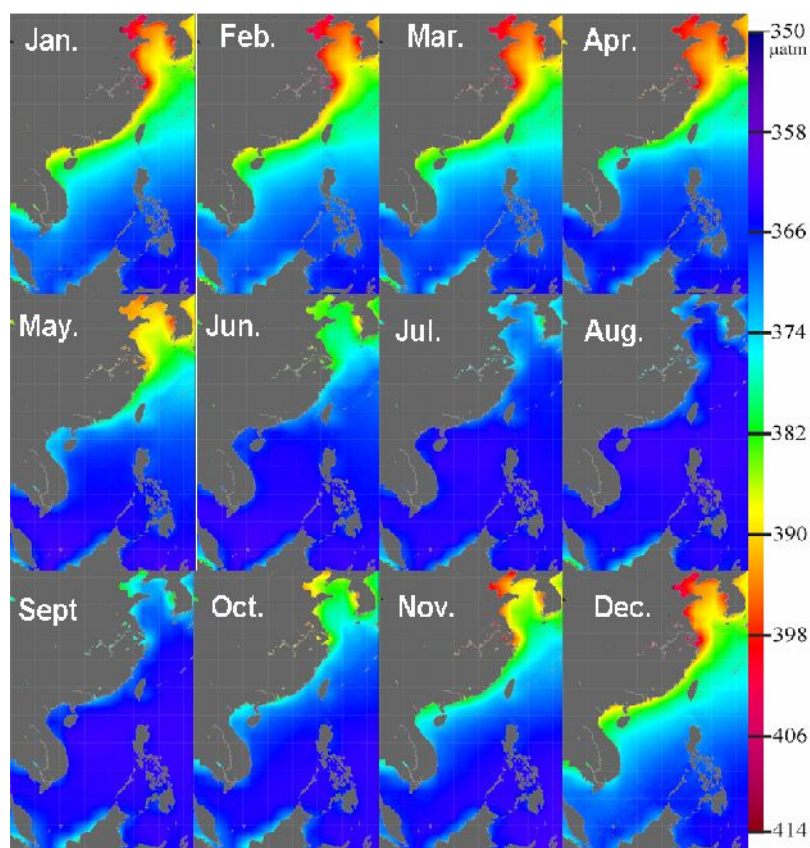


图 5. 2003 -2009 年气候态月平均中国邻近海域大气  $\text{CO}_2$  分压分布图

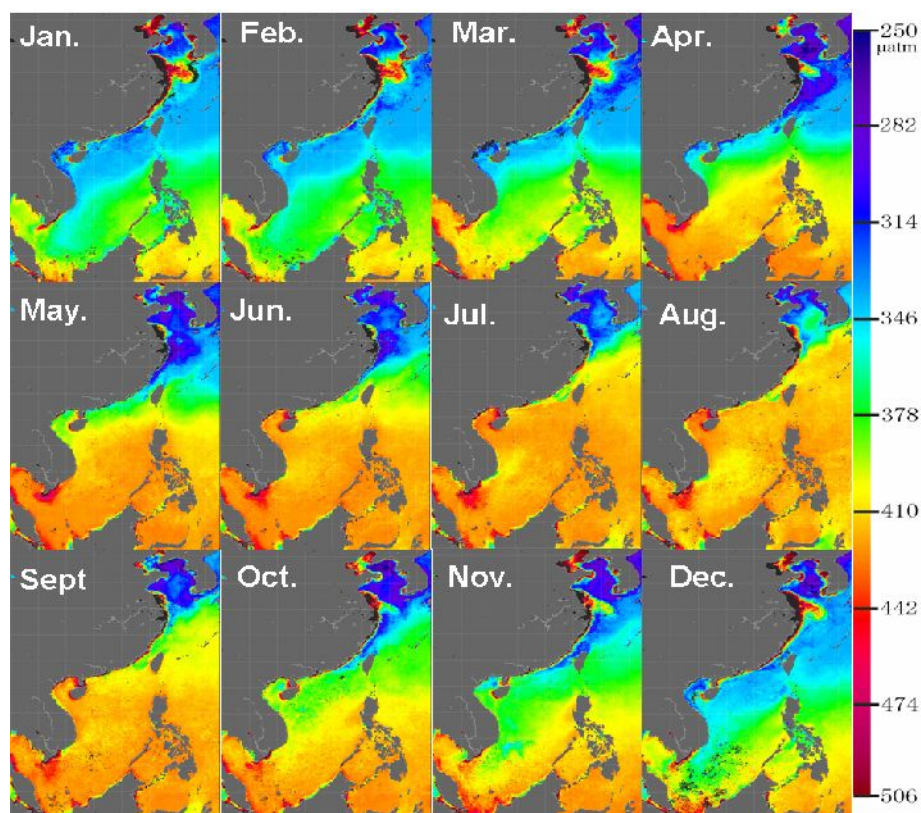


图 6. 中国邻近海域气候态海水 CO<sub>2</sub>分压月平均遥感专题图 (2003-2009 年)

### ③ 中国邻近海域海-气 CO<sub>2</sub>通量气候态季节分布

图 7 为 2003-2009 年 7 年平均的海-气 CO<sub>2</sub>通量分布图。可以看到,近岸区域主要为 CO<sub>2</sub>的强源。苏北浅滩的水舌在 11 月至次年的 3 月也呈现较强的碳源,但由于该区域苏北浅滩泥沙较强的再悬浮作用,不仅影响了遥感水色反演算法(包括叶绿素浓度及黄色物质算法等),而且该水体总碱度和无机碳对 CO<sub>2</sub>的变化也有较大的影响,因此,该区域呈现的强碳源的特性还有待进一步的验证。

东海陆架和南海海区整体上呈现弱汇和弱源的状态,其中南海和东海外陆架在夏季为碳源,主要受高温、低生物作用的影响;冬季呈现为弱汇。尤其是南海北部陆架冬季生物作用相对较为活跃,碳吸收作用较强。黄海中部及东海中陆架区域在 4 月-6 月生物作用为主导因素,也呈现为强碳汇。



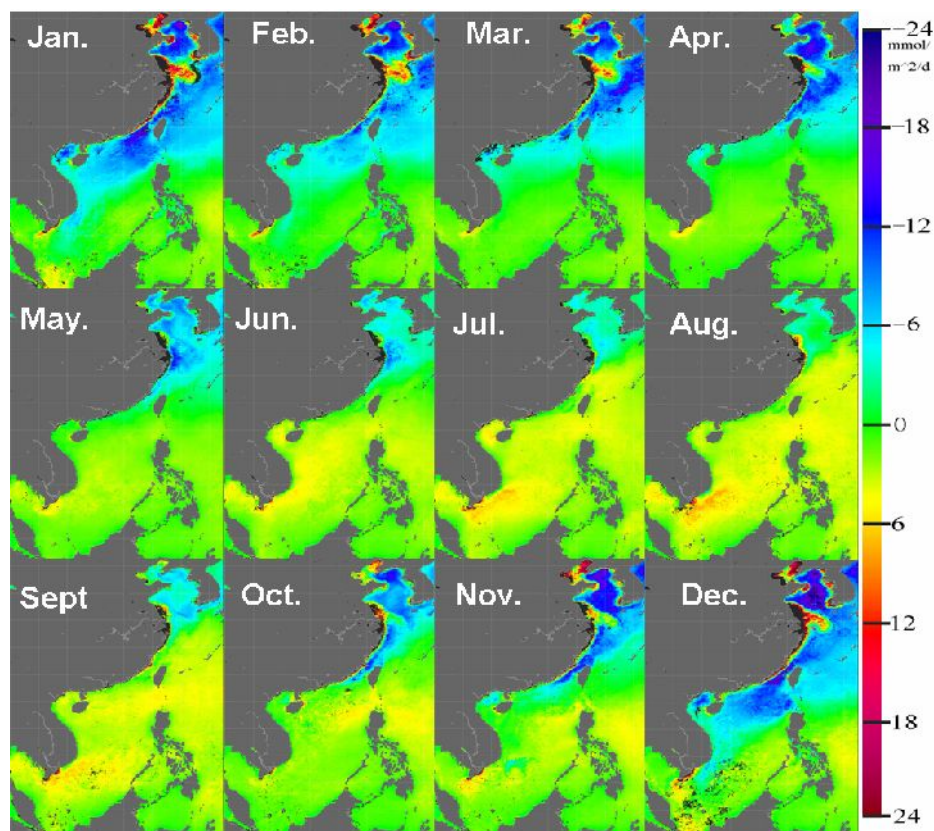


图 7. 中国邻近海域气候态海-气  $\text{CO}_2$  通量月平均遥感专题图

(2003-2009 年, 负值表示海水为碳汇, 正值表示碳源)

#### (4) 年际变化分析

图 8 所示为不同海区大气  $\text{CO}_2$  分压的年际变化曲线。可以明显看出, 从 2003 年到 2009 年, 整个中国近海的大气  $\text{CO}_2$  分压呈现逐年上升的趋势, 渤、黄海最大, 月平均大气  $\text{CO}_2$  分压上升了 27 atm, 东海陆架上升了 23 atm, 南海北部陆架上升了 15 atm, 南海海盆上升了 9 atm。整个中国近海 2003-2009 年的平均上升速率为 1.88 atm/yr。

图 9-11 分别为中国近海不同区域的海水  $\text{CO}_2$  分压、海-气  $\text{CO}_2$  分压差、海-气  $\text{CO}_2$  通量的年际变化曲线。相比大气  $\text{CO}_2$  分压的年际变化, 各区域的海水  $\text{CO}_2$  分压、海-气  $\text{CO}_2$  分压差、海-气  $\text{CO}_2$  通量的逐年上升或者下降趋势不明显。各海区均呈现显著的季节变化, 其中渤海、黄海及长江口北部冲淡水区域  $p\text{CO}_2$  呈现冬季高(源), 夏季低(汇)的趋势, 主要是受陆源作用和生物作用影响较大。反之, 东海陆架、台湾东部黑潮区域及南海海区呈现夏季高(源)和冬季低(汇)的趋势, 这些区域陆源影响较小及生物量相对较低, 主要受温度控制。黄海及东海陆架春季为整个海区碳汇最强的区域。各海区年际变化并非十分显著, 但仍可

以看出一些异常的年份。如2003及2006东海陆架区域的碳汇最为显著，对应该年份春季的浮游植物藻华强度较大。详细的年际变化分析还需要结合温度、藻华发生强弱、长江冲淡水扩散范围等数据进行综合分析。

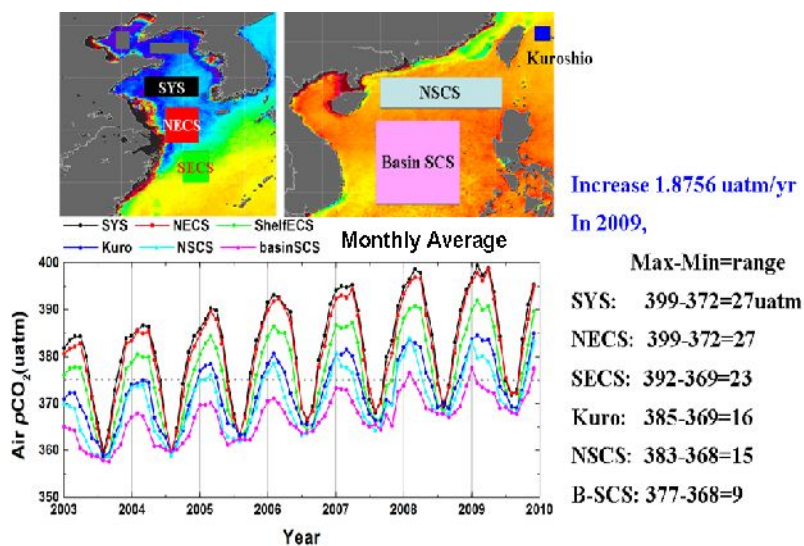


图 8. 2003 -2009 年中国近海大气 CO<sub>2</sub>分压年际变化曲线

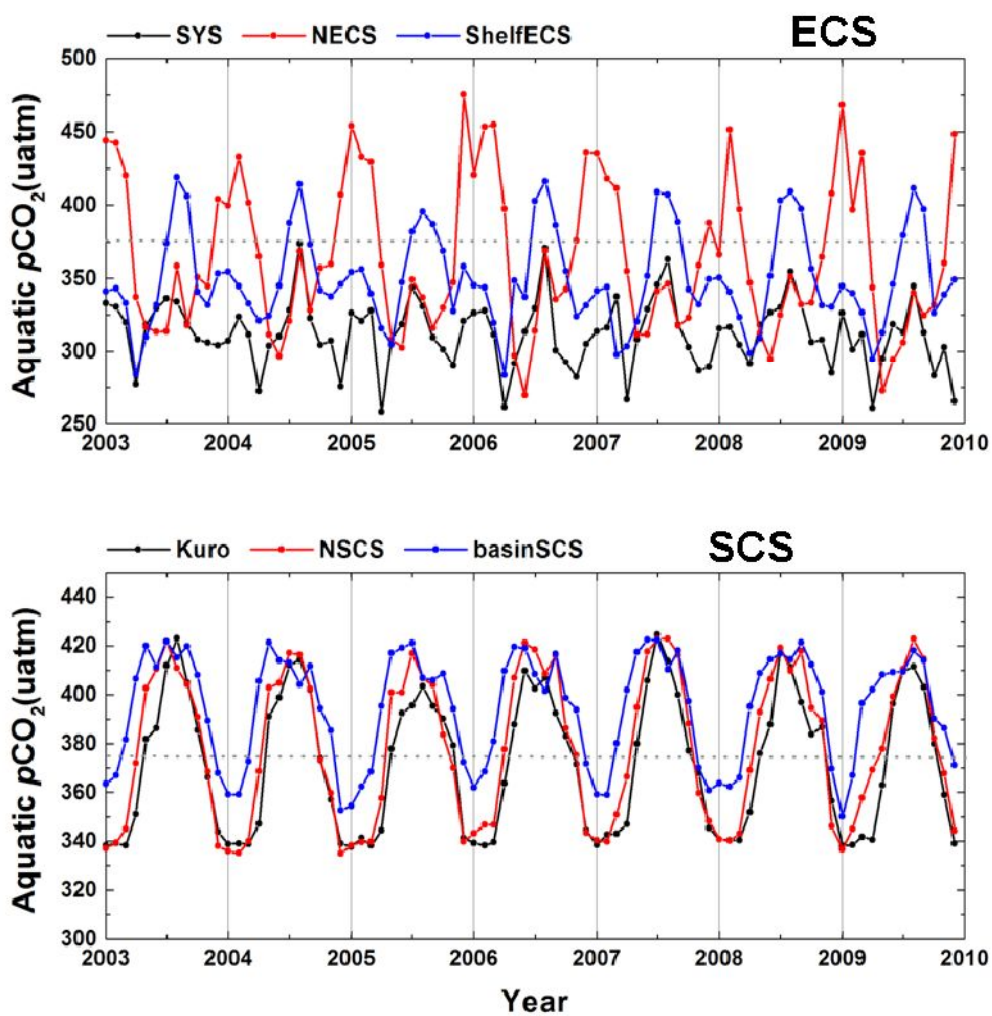
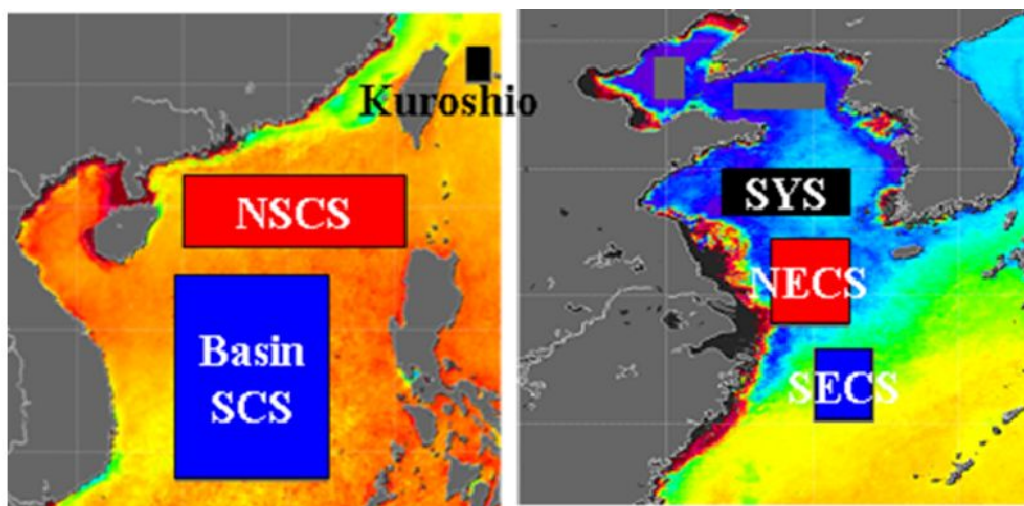


图 9. 2003 -2009 年中国近海海水  $\text{CO}_2$  分压年际变化曲线

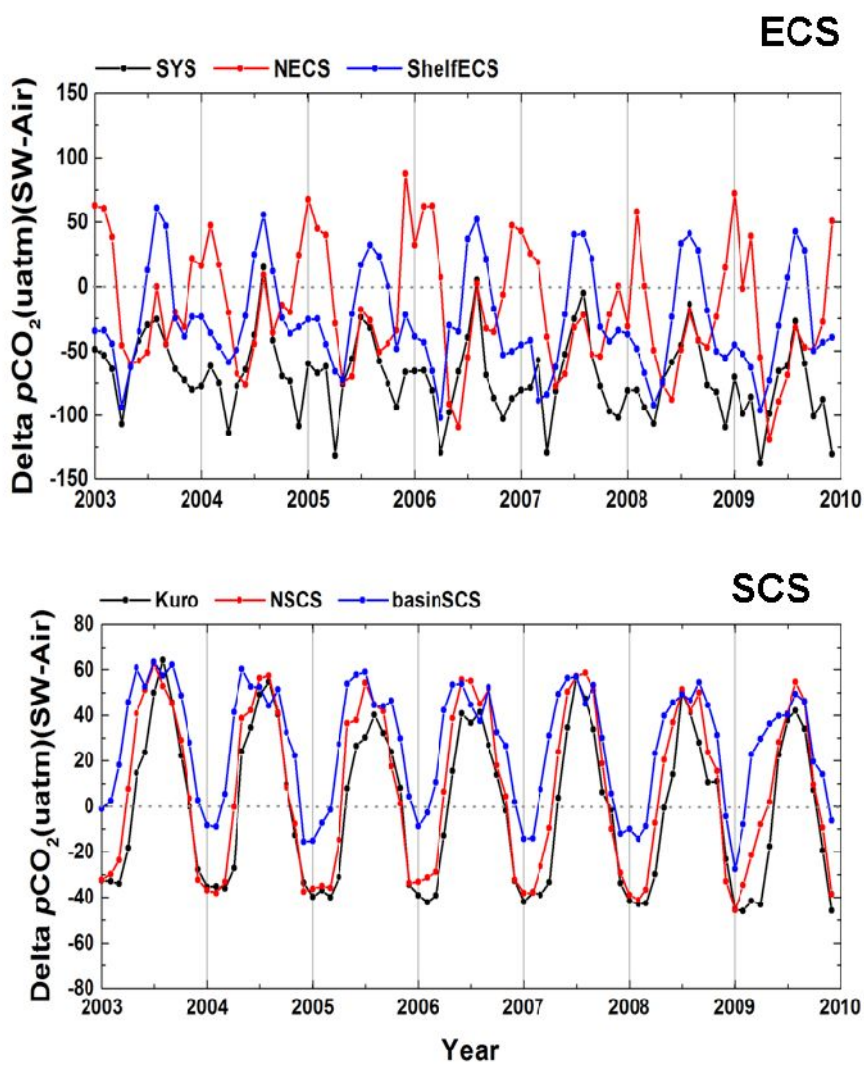
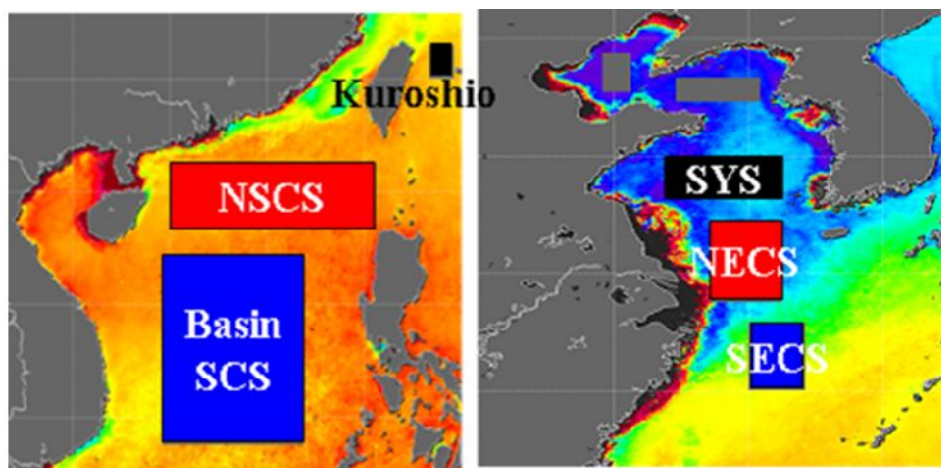


图 10. 2003 -2009 年中国近海海-气  $CO_2$  分压差年际变化曲线

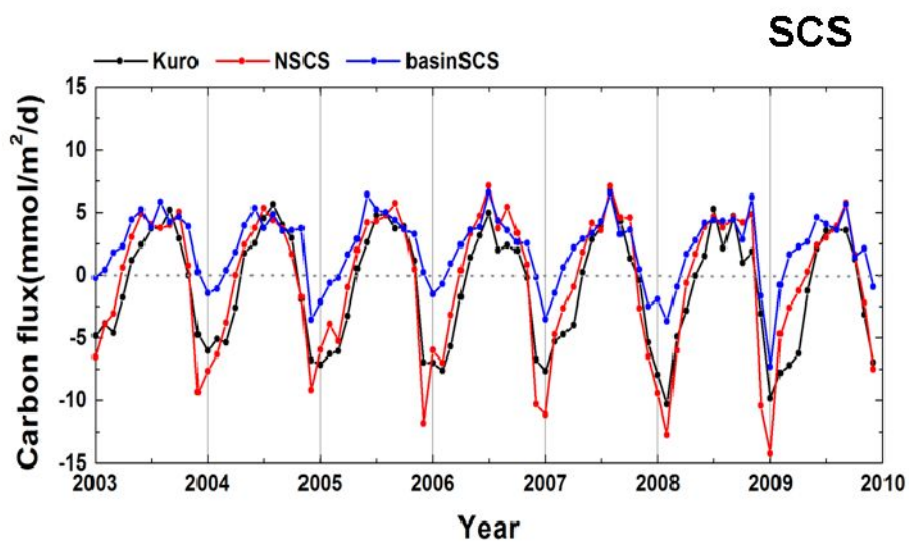
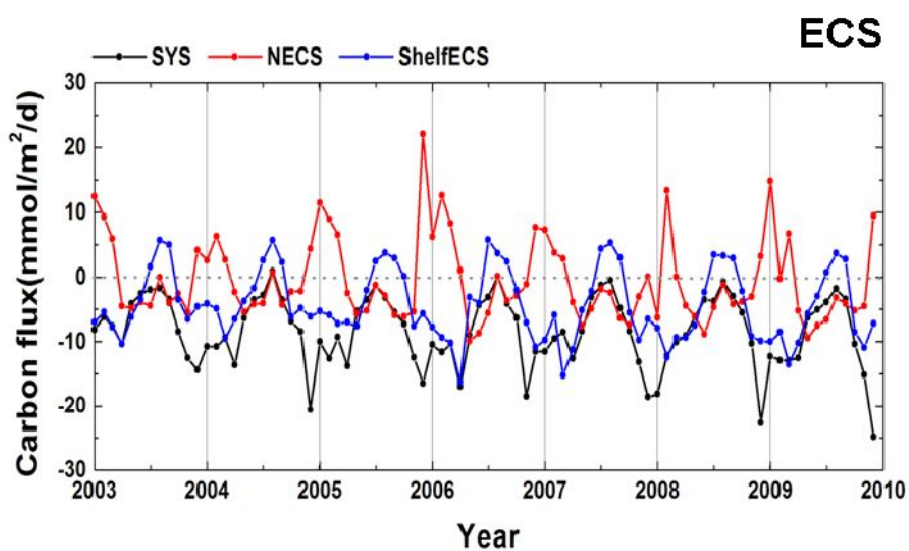
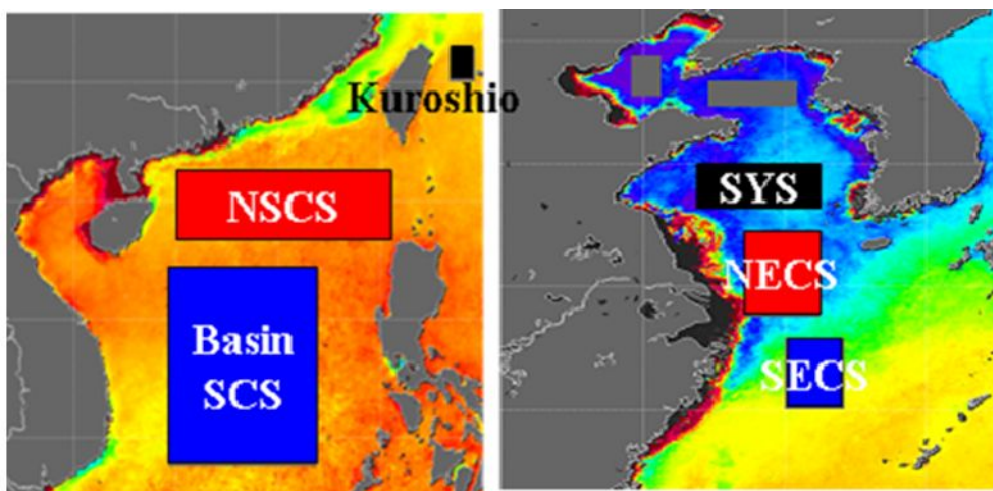


图 11. 2003 -2009 年中国近海海-气 CO<sub>2</sub> 通量年际变化曲线

## 2、后续主要工作概览

表 2 项目层面重大事项概览表

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2009			★ International workshop		Cruise planning meeting			Cruise 1		Cruise report, planning & annual meeting		Cruise 2
2010	Cruise 2		Cruise report & planning meeting					Mid-term summary workshop			Cruise 3	
2011		Cruise report & planning meeting		★ International workshop		Cruise 4						Cruise report & planning meeting
2012								Process Cruise				Annual meeting
2013						结题验收 预备会议			课题 结题		★ Final review	



后续主要工作如表 2 所示。